amateurreihe

electronica



Georg Engel

Elektromechanische und vollelektronische Musikinstrumente

Teil 3

electronica · Band 134

Elektromechanische und vollelektronische Musikinstrumente, Teil 3

GEORG ENGEL

Elektromechanische und vollelektronische Musikinstrumente

Teil 3: Der spezifische Aufbau von Baugruppen und Instrumenten

MILITÄRVERLAG
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN
REPUBLIK

Die Teile 1, 2 und 4 enthalten folgende Hauptabschnitte:

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die industrielle Herstellung elektroakustischer, vor allem vollelektronischer Musikinstrumente hat in vielen Ländern einen bemerkenswerten Aufschwung genommen. Schaltungsunterlagen sind bisher in größeren Auflagen nicht erschienen. In Teil 3 werden deshalb einige Schaltungsvarianten vorgestellt, die fachlich von Interesse sind. Hierbei handelt es sich sowohl um *Stromlaufpläne einzelner Baugruppen* als auch um *Übersichtsstromlaufpläne*[1] kompletter Instrumente.
Die beschriebenen Konstruktionen haben sich mechanisch und in ihrer elektrischen Ausführung bewährt.

Sonneberg, im Februar 1973 *Georg Engel*

---

1 Siehe Schlußbetrachtungen Teil 2

10. Schaltungs- und Aufbauvarianten von Baugruppen und Instrumenten

Konstruktionsbeispiele von Baugruppen der elektronischen Orgel K1 (Bild 3.3, Bild 9.42 und Bild 9.43 in Teil 1 und Teil 2)

Das Instrument ist mit vielen Spielhilfen und Effektschaltungen ausgestattet, die aber nicht unbedingt vorhanden sein müssen. Beim Selbstbau einer elektronischen Orgel erreicht man auch mit wesentlich einfacheren Mitteln und Konstruktionen sehr brauchbare Lösungen. Das zeigen die Instrumente der *Matador*-Serie, die *TO 200/5* oder die *TO 10.*
Der Abschnitt 10.1. trägt mehr informatorischen Charakter. Der Amateur kann aber auch Teilschaltungen aus der Konstruktion des Instruments K1 für eigene Entwürfe auswerten und anwenden. Besondere Bedeutung haben in diesem Zusammenhang die Baugruppen *Generatoren, Tastenkontaktbaueinheiten* und *Filterschaltungen.* Die Abbildungen in Teil 1 und Teil 2 zeigen den mechanischen Aufbau der verschiedensten Baugruppen.

10.1.1. Generatorteil (Baugruppen I nach Bild 9.44)

Der erforderliche Tonumfang des Generatorsatzes ergibt sich wie folgt:

Tiefste Klaviaturtaste:	C $\triangleq$ 65,4 Hz (entspricht der 8′-Tonlage)
Tiefster Ton im 16′:	C_1 $\triangleq$ 32,7 Hz (Da keine tiefer liegenden Chöre vorhanden sind, schwingt der langsamste Generator des Generatorsatzes auf dieser Frequenz. Nur die Vibratogeneratoren schwingen auf noch niedrigeren Frequenzen.)

Höchste Klaviaturtaste: h^3 △ 1975,6 Hz (entspricht der 8'-Tonlage)

Höchster Ton im 2'-Chor: h^5 △ 7902,4 Hz

Im 1'-Chor müßten in der obersten Oktave eigentlich die Töne c^6 △ 8372 Hz bis h^6 △ 15804,8 Hz erscheinen. In der Praxis wird aber die Repetition angewendet. Die Töne c^6 bis h^6 des 1'-Chores werden nicht erzeugt, sondern auf die Töne c^5 bis h^5 zurückgeführt, so daß sich für die Auslegung des Generatorsatzes ein Tonumfang von 96 Tönen (C_1 △ 32,7 Hz bis h^5 △ 7902,4 Hz) ergibt. Dadurch erklingen auf der Tastatur im 1'-Chor in den beiden oberen Oktaven jeweils die Töne c^5 bis h^5. Die Repetition gilt für alle Chöre über 2' ($1^3/_5$', $1^1/_3$' u. a.) Es werden stets nur die Töne repetiert, für die der Generatorsatz nicht mehr ausgelegt ist. Im $1^1/_3$' sind das z. B. nur die Töne c^6 bis fis^6.

Der Generatorsatz der Orgel K1 besteht somit aus 12 Kaskaden, von denen jede einen Hauptoszillator und 7 Teilerstufen aufweist. Jede der 12 Kaskaden erzeugt einen anderen der 12 zu einer Oktave gehörenden Töne in jeweils 8 Oktavlagen.

Die Klangfarbenbildung erfolgt selektiv (Tonfrequenzfilter) und additiv (es erklingen gleichzeitig mehrere Chöre). Der Generatorsatz liefert obertonreiche Schwingungen, jeder Oszillator bzw. jede Frequenzteilerstufe muß mehrere (maximal bis 26) Tastenkontakte speisen. Da deshalb die Generatoren teilweise stark belastet werden, benutzt man niederohmige, transistorisierte Schaltungen. Außerdem wirken sich in diesem Fall Schaltkapazitäten in der umfangreichen Verdrahtung des Instruments weniger nachteilig aus. Durch die niederohmigen Schaltungen verringert sich auch das *Tastenkontaktklicken.*

Da eine Oktavteilung eine Frequenzteilung ist, werden die Vorteile von Frequenzteilerschaltungen ausgenutzt, um eine gute Stimmungskonstanz des Generatorsatzes zu erreichen. Die Steuergeneratoren der Frequenzteilerkaskaden müssen frequenzstabil schwingen und eine für die Synchronisation des nachfolgenden Frequenzteilers ausreichend hohe Ausgangsspannung liefern.

Bild 10.1 zeigt den Stromlaufplan einer Kaskade. Alle 12 Kaskaden des Generatorsatzes sind bis auf die frequenzbe-

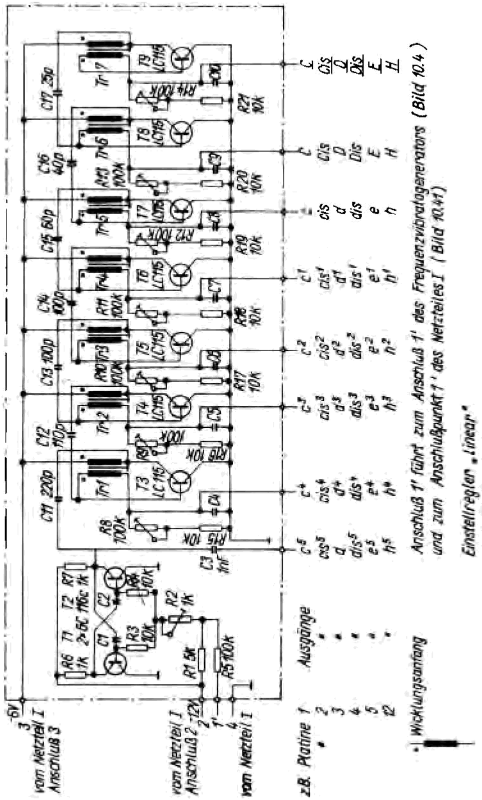


Bild 10.1 Stromlaufplan einer Generatorkaskade

stimmenden Kondensatoren untereinander gleich. Die Widerstandskombination R1, R2 und R5 ist, abweichend von der Grundschaltung eines astabilen Multivibrators, zur *Frequenzfeinabstimmung* und zum *Einkoppeln* einer Vibratospannung eingebaut. Die synchronisierten Teilerstufen (Sperrschwinger) arbeiten ausreichend frequenzstabil. Maßnahmen zur Stabilisierung der Schwingungszahl der Muttergenera-

toren werden in Teil 4 (Abschnitt 17.1) beschrieben. Über R5 wird außer der Frequenzvibratospannung noch eine regelbare Gleichspannung zugeführt (Gesamtstimmungsregelung).

Der mechanische Aufbau der Kaskaden geht aus Bild 10.2 hervor. Eine fertiggestellte Platine (Kaskade) zeigt Bild 10.3.

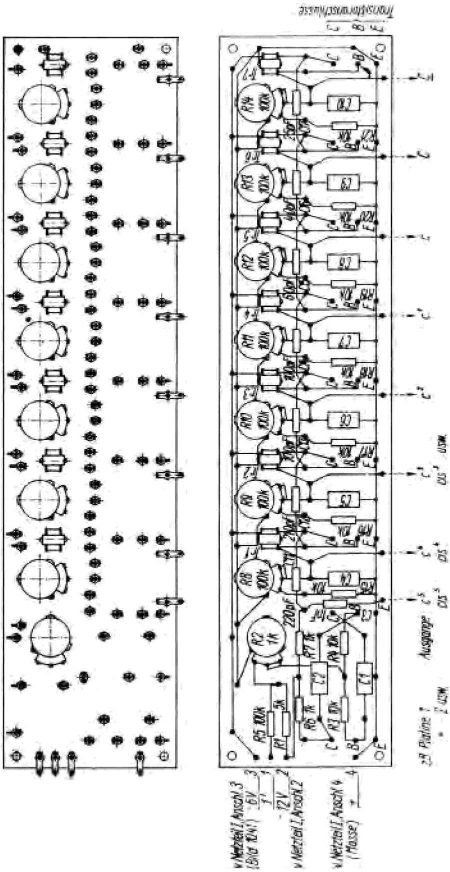


Bild 10.2 Generatorplatine (Montage- und Bauschaltplan)

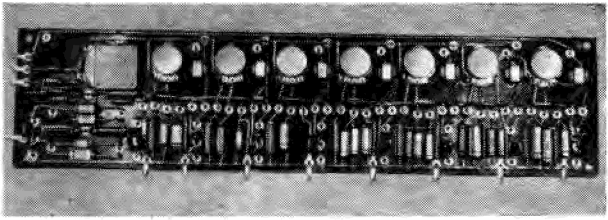


Bild 10.3 Eine fertiggestellte Generatorplatine

Den Stromlaufplan des RC-Generators zeigt Bild 10.4, den mechanischen Aufbau der Vibratogeneratorplatine veranschaulicht Bild 10.5, während Bild 10.6 die komplette Generatorplatine zeigt.

Die einzelnen Generatorplatinen wurden nach Bild 10.7 zu einem Komplex zusammengebaut (Generatorsatz). Der Fre-

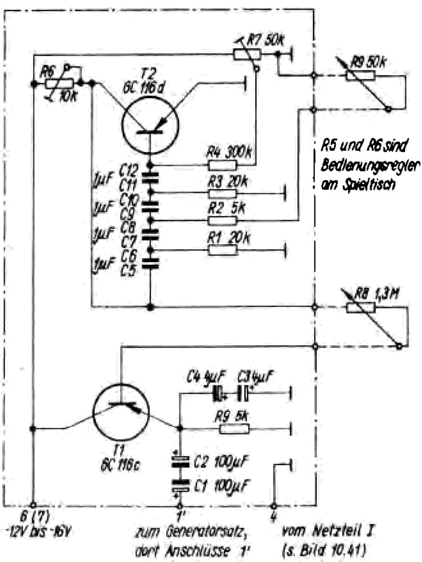


Bild 10.4 Stromlaufplan des Frequenzvibratogenerators

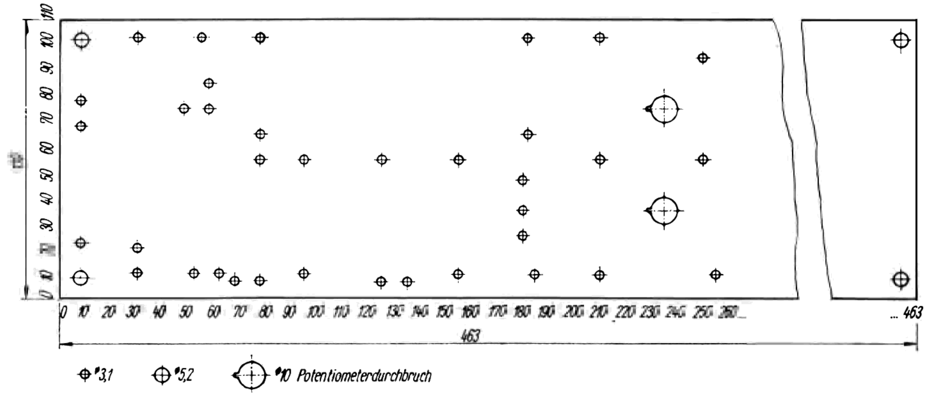
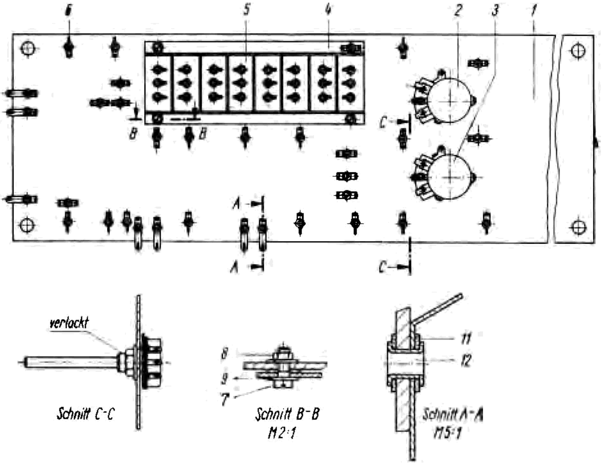
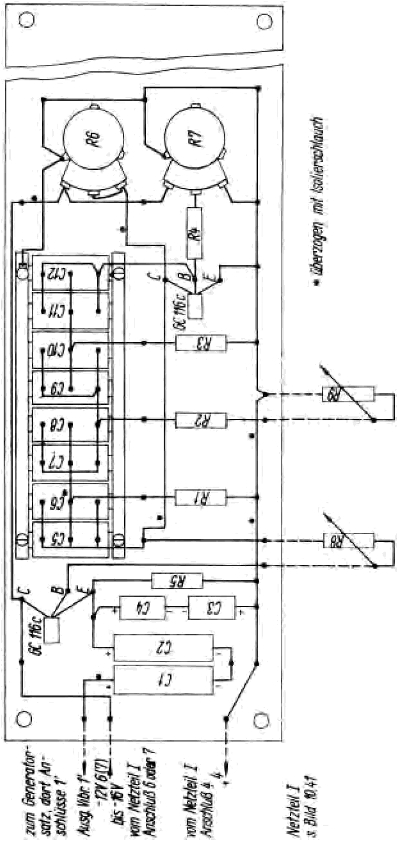


Bild 10.5 Platine des Frequenzvibratogenerators (mechanischer und schaltungstechnischer Aufbau)



quenzvibratogenerator ist mit im Generatorsatz montiert. Da die Anschlüsse aller Platinen in ihrer Lage übereinstimmen, ergibt sich eine einfache und übersichtliche Verdrahtung für die Stromversorgungszuleitungen usw. Alle diese Anschlußlötösen befinden sich an der Schmalseite der Platinen (s. Bild 10.7 oben). Später werden die Lötösen durch gerade Leitungen miteinander verbunden, die dann längs über den Generatorsatz hinwegführen.



R6
R7
R4
C
B
E
GC 116 c
C12
C11
C10
C9
C8
C7
C6
C5
R3
R2
R1
R8
R9
R5
C4
C3
C2
C1
• Überzogen mit Isolierschlauch
zum Generatorsatz, dort Anschlüsse 1'
Ausg. Vibr. 1'
−12 V 6 (7)
bis −16 V
vom Netzteil I
Anschluß 6 oder 7
vom Netzteil I
Anschluß 4
Netzteil I
s. Bild 10.41

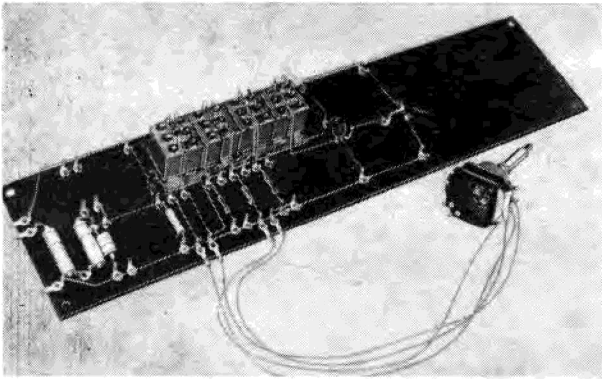


Bild 10.6 Platine des Frequenzvibratogenerators

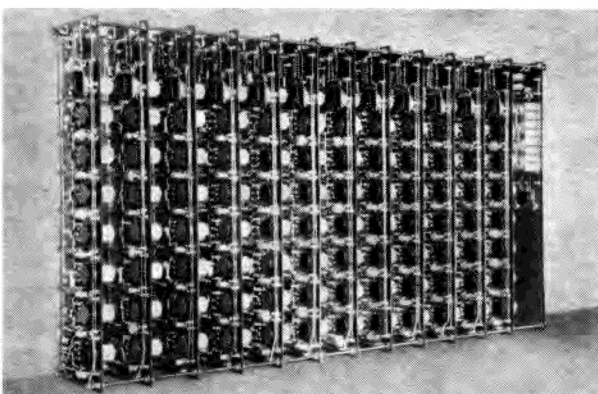


Bild 10.7 Generatorsatz montiert (rechts außen befindet sich die Platine des Frequenzvibratogenerators)

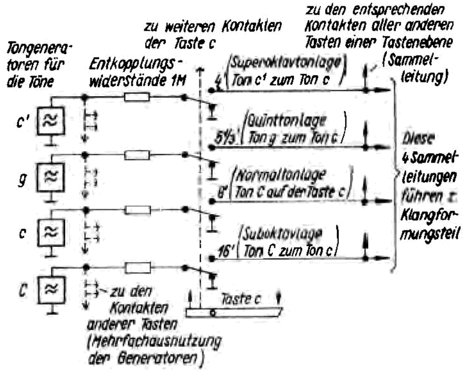


Bild 10.8 Schaltungsprinzip der Tastenkontakte

10.1.2. Tastenkontaktsätze (Baugruppen II nach Bild 9.44)

Das Schaltungsprinzip der verwendeten Drahtumschaltkontakte ist in Bild 10.8 am Beispiel der zur Taste „c" gehö-

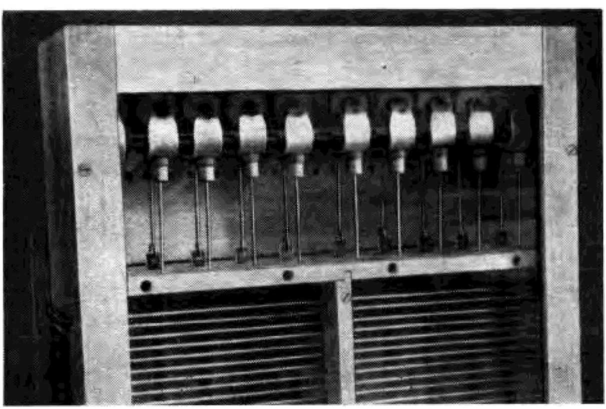


Bild 10.9 Drahtkontakte im Spieltisch einer Pfeifenorgel (der Aufbau der Tastenkontakte erfolgte nach diesem Prinzip)

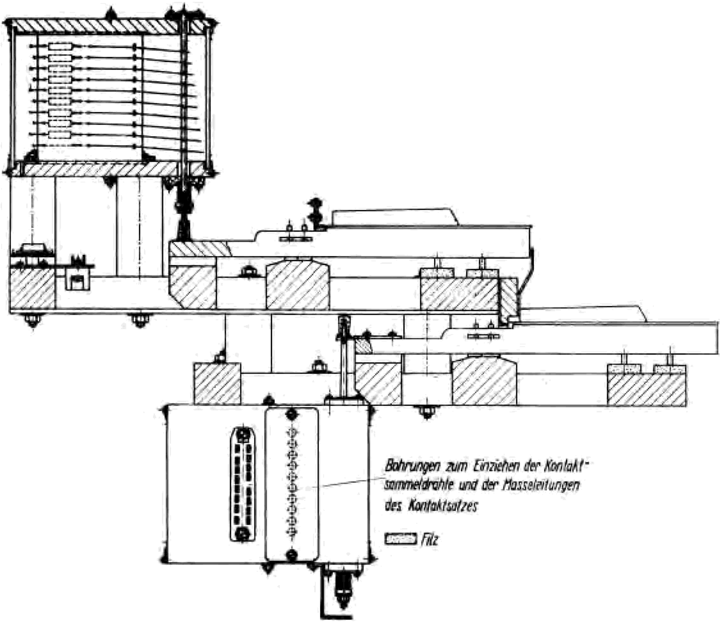


Bild 10.10 Aufriß der Tastenkontaktbaueinheit des I. und II. Manuals

renden Kontakte zu erkennen. Es handelt sich um eine bewährte und häufig angewendete Kontaktkonstruktion, die schon im herkömmlichen Orgelbau zum Schalten der freien Kombinationen zu finden ist (s. Bild 10.9).
Bild 10.10 vermittelt einen Überblick vom Gesamtaufbau der Tastenkontaktbaueinheiten der Manuale. Der Kontaktsatz des II. Manuals ist im Schnitt dargestellt. Für jede Taste ist eine Kontaktträgerplatte nach Bild 10.11 vorhanden. Bild 10.12 und Bild 10.13 zeigen die Konstruktion der Schaltschieber (Positionen (22) und (31) in Bild 10.10). Den Kontaktsatz des II. Manuals stellt Bild 10.14 dar. Die im Kontaktsatz von links nach rechts führenden Sammelschienen für die Chöre und

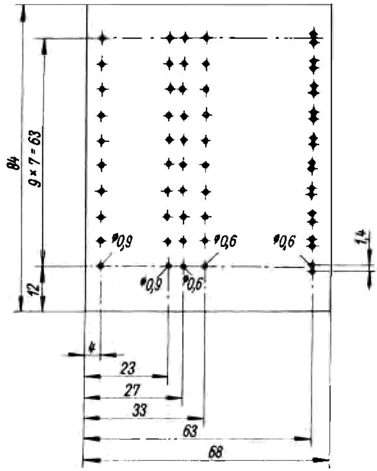


Bild 10.11
Kontaktträgerplatte für die Kontakte einer Taste

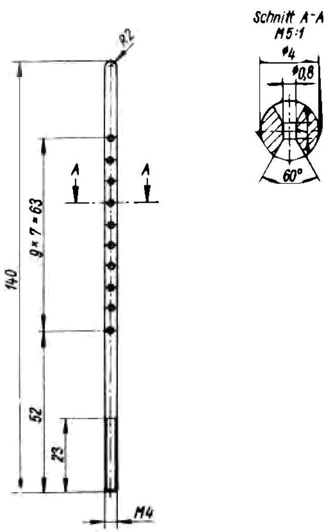


Bild 10.12
Schaltschieber für den Kontaktsatz des II. Manuals und des Pedals

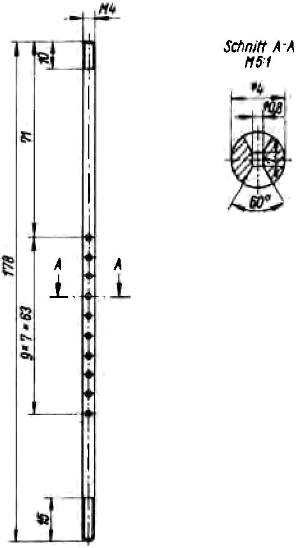


Bild 10.13
Schaltschieber für den Kontaktsatz des I. Manuals



Bild 10.14 Tastenkontaktmechanik des II. Manuals

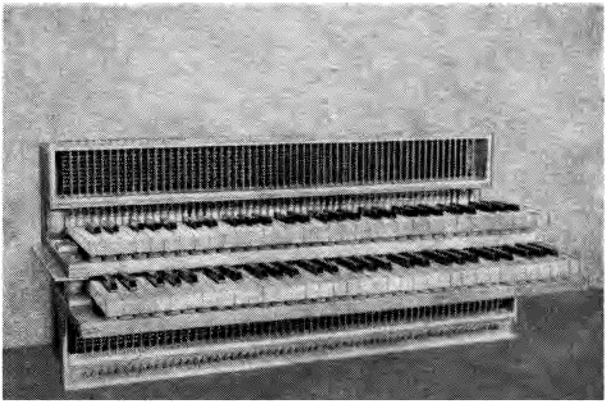


Bild 10.15 Tastenkontakteinheit des I. und II. Manuals

die Masseschienen (die Schienen bestehen aus blanken Runddrähten *NS 6512* von 0,5 mm Durchmesser) sind gut zu erkennen. Über den Tasten des II. Manuals liegen die *Justiereinrichtungen* für die Schaltschieber bzw. den Tastendruck. Im unteren Manual sind diese etwas anders angeordnet, die Justiereinrichtungen unterscheiden sich aber in ihrer Wirkungsweise nicht voneinander, sie sind auch im Pedaltastenkontaktsatz nach dem gleichen Prinzip aufgebaut. Bild 10.15 und Bild 10.16 zeigen die Manual-Tastenkontaktbaueinheit in der Ansicht von vorn und von hinten.
Zwischen den Platinen der Sustainregelstufen und dem Kasten des Kontaktsatzes befinden sich *Messerleistenanschlüsse*, über die die Tonfrequenzen vom Generatorsatz der Baueinheit Pedaltastenkontakte und Sustainstufen (s. Bild 10.17) zugeführt werden. Durch die Steckverbindungen lassen sich die Baugruppen elektrisch voneinander trennen und mit wenigen Handgriffen einzeln aus dem Spieltischgehäuse herausnehmen. Das ist bei der Ausführung von Reparaturarbeiten, aber auch schon beim Bau des Instruments von Vorteil. Die Kontaktkästen sind staubdicht verleimt und verschraubt. Die Vorder- und Rückwände der Kästen bestehen aus glasklarem

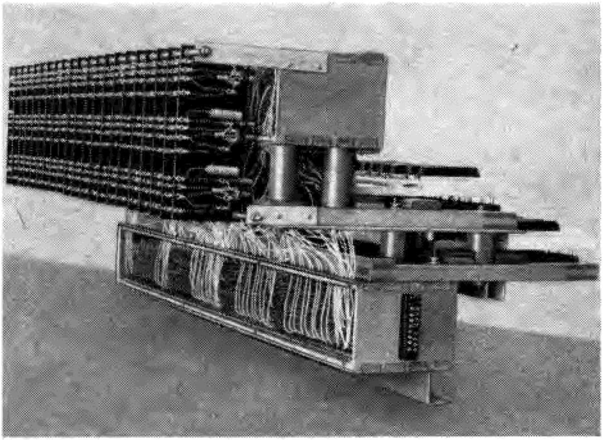


Bild 10.16 Tastenkontaktbaueinheit mit angeschraubten und abschwenkbaren Sustainplatinen

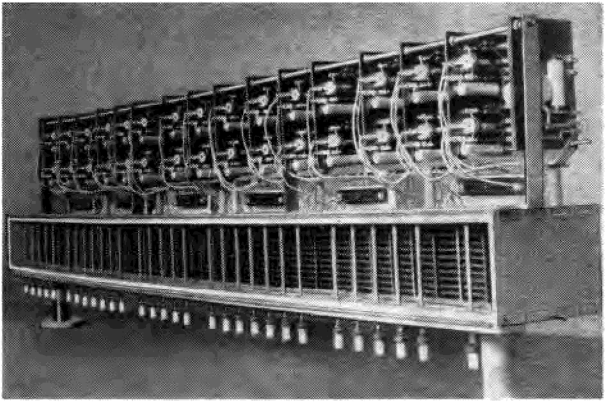


Bild 10.17 Pedaltastenkontaktsatz mit Sustainplatinen

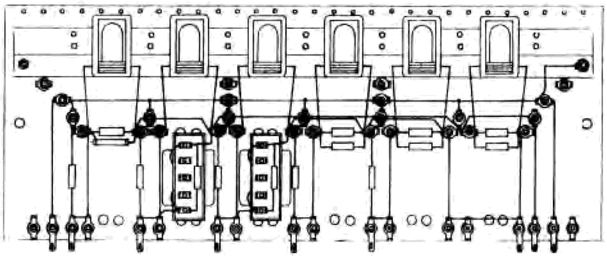


Bild 10.18 Beispiel des Aufbaus einer Registerplatine

Material, um die Kontakte jederzeit beobachten zu können (Justierarbeiten). Da die Bilder den Aufbau des Instruments und seiner Baugruppen eindeutig zeigen, kann auf weitere Erläuterungen verzichtet werden.
Der Selbstbau aller Baugruppen eines Instruments wird in Teil 4 ausführlich besprochen.

10.1.3. Einrichtungen zur Klangformung (Baugruppen III, Register nach Bild 9.44)

Im Instrument sind eine Registerwalze und 4 freie Kombinationen zur *Registervorwahl* eingebaut. Die Filter (Register) werden mit Relais an- und abgeschaltet, die direkt auf den Registerplatinen in der Nähe der Filterschaltungen montiert sind. Alle Registerplatinen sind untereinander mechanisch gleich aufgebaut. Ihre Ausführung läßt den Aufbau verschiedener Filter durch eine entsprechende Montage von Einzelteilen (Bauelementen) und eine unterschiedliche Verdrahtung (den Unterschieden der Filterschaltungen entsprechend) zu (s. Bild 10.18 und Bild 10.19).
Die Registerplatinen wurden zu komplexen Baueinheiten zusammengeschraubt (s. Bild 10.20), mit Abschirmungen versehen, und, wie es in Bild 9.42 zu sehen ist, in den Spieltisch eingebaut.

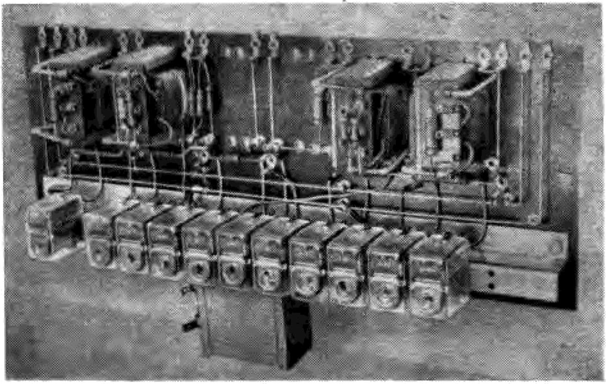


Bild 10.19 Registerplatine

Die Schaltung der Filter erfolgte grundsätzlich nach Bild 2.10, die Werte der Bauelemente sind dem Klangcharakter der Register und entsprechend ihrer Fußlagenzahl ausgelegt. Näheres ist den Filterschaltungen nach Bild 10.21 bis Bild 10.23 zu

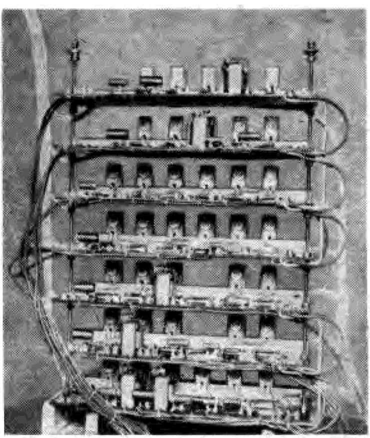


Bild 10.20 Registerplatinen des Pedals und des I. Manuals mit Gewindestangen zusammenmontiert (Kabelbäume angeschlossen, Abschirmungen entfernt)

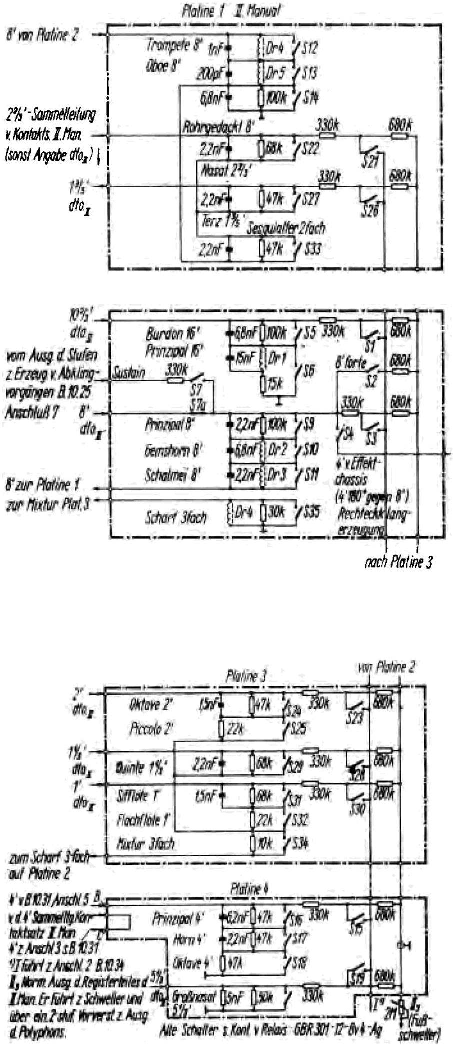


Bild 10.21 Die Registerfilter des II. Manuals

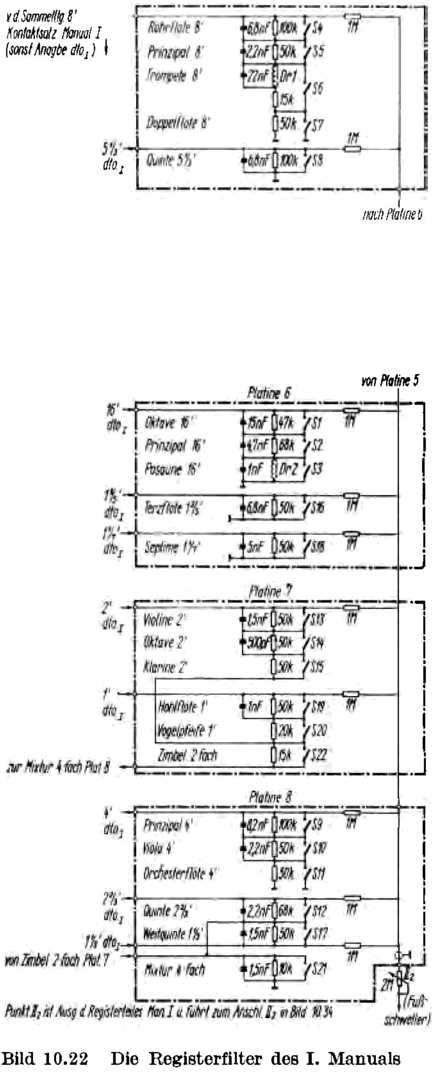


Bild 10.22 Die Registerfilter des I. Manuals

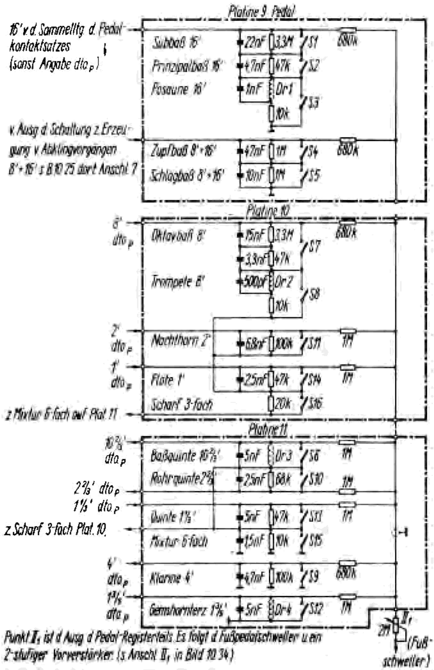


Bild 10.23 Die Registerfilter des Pedals

entnehmen. Der Leser sollte auch die Ausführungen in Abschnitt 6.5. bis Abschnitt 6.5.2. in Teil 1 zum Vergleich heranziehen.

10.1.4. Effektschaltungen (Baugruppen IV, nach Bild 9.44)

Der *Frequenzvibratogenerator* wurde schon in Abschnitt 9.2.2.1. beschrieben.
Ein weiterer Effekt wird durch die *Abklingschaltungen* — auch als Abklinghall (Sustain) bezeichnet — bewirkt. Allen Tasten

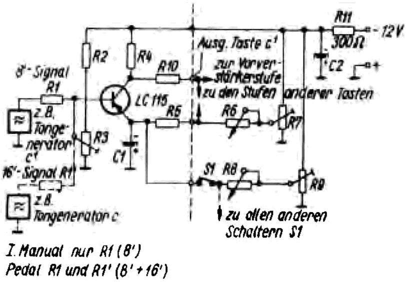


Bild 10.24 Schaltungsprinzip des Sustains (S1 sind Tastenkontakte)

des II. Manuals und des Pedals ist je eine Stufe nach Bild 10.24 zugeordnet (Schaltung links von der Trennlinie). Dadurch kann *polyphon* gespielt werden. Der Verstärker rechts von der Trennlinie (s. Bild 10.24) ist jeweils nur einmal im II. Manual und im Pedal vorhanden. R6 (Abklingdauer) und R8 (Toneinsatz hart oder weich regelbar) sind Potentiometer, die im Bedienungsteil des Spieltisches untergebracht wurden. Mit R7 wird die erforderliche Sperrspannung für die „Schalterstufen" (Regelstufen), mit R9 die zum Öffnen der Stufen benötigte Emitterspannung für die Transistoren *LC 115* eingestellt (es können auch andere NF-Transistoren in die Schaltung eingelötet werden).

Die Tonfrequenzen vom Generatorsatz liegen ständig am Eingang der Regelstufen und werden erst weitergeleitet, wenn durch das Betätigen von Tasten die Schalter S1 schließen und die Regelstufen öffnen. Beim Schließen von S1 (Niederdrücken einer Taste) wird der Emitterkondensator C1, der über R5, R6 und R7 bis zur Sperrung der Stufe negativ aufgeladen wurde, über die Widerstände R8 und R9 schnell entladen. Je nach dem eingestellten Wert von R8 erfolgt der Toneinsatz hart oder weich. Mit dem Loslassen der Taste wird S1 geöffnet, C1 lädt sich über R5, R6 und R7 allmählich wieder auf. Während dieser Zeit verklingt der Ton, obwohl die Taste bereits losgelassen wurde.

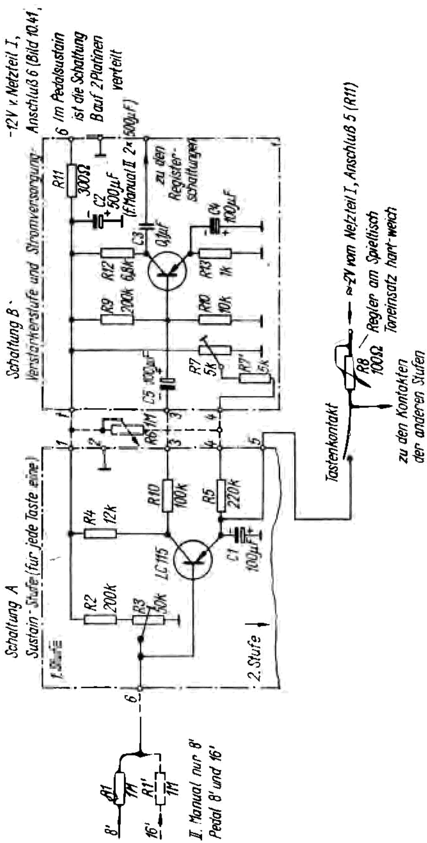
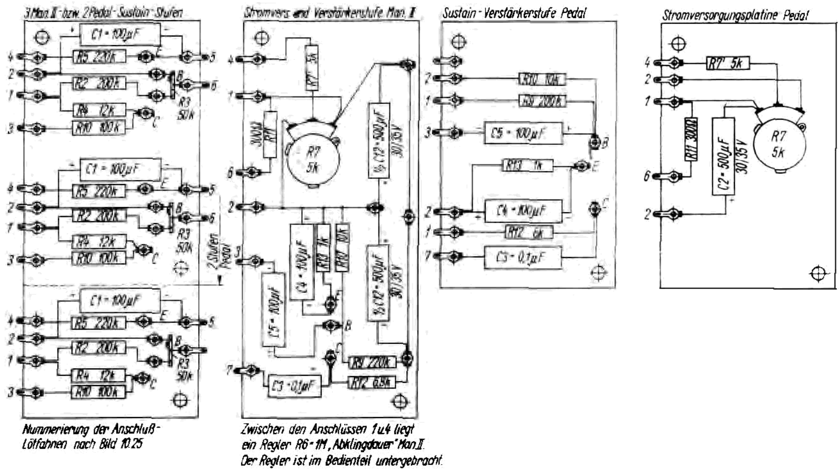
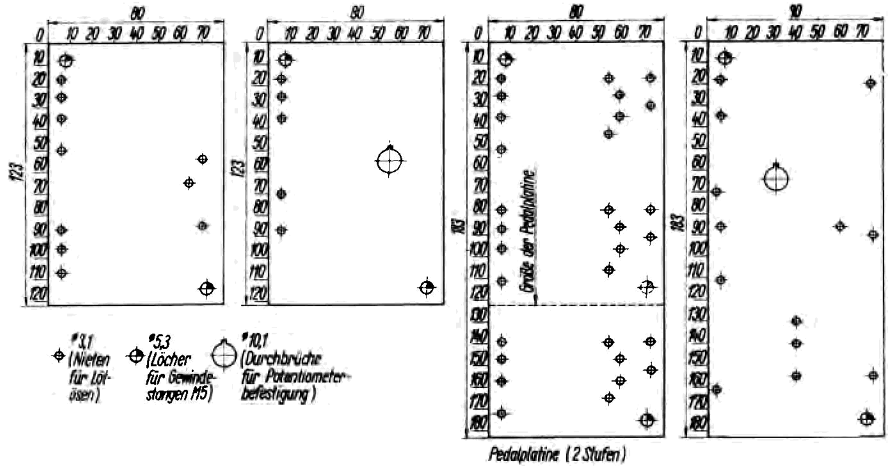


Bild 10.25 Schaltung der Sustainplatinen (die Anschlüsse 1 aller Schaltungen A sind untereinander verbunden. Gleiches gilt für alle Anschlüsse 2, 3 und 4). R6 (Abklingdauer) befindet sich im Bedienungsteil

Die Basisspannungsteiler sind trimmbar ausgeführt, um alle Stufen lautstärkenmäßig aneinander *anpassen* zu können. Die Verstärkung der einzelnen Stufen muß etwa gleich groß sein (Transistoren entsprechend auswählen). Es sollte niemals die maximal erreichbare Lautstärke der Stufen ausgenutzt werden, um eine einwandfreie Angleichung der Lautstärke der Stufen zu garantieren. Außerdem ist diese Einstellung erforderlich, weil sich sonst ein ungleichmäßiger Lautstärkeverlauf beim Drücken einer Taste ergeben würde (Toneinsatz zunächst leise und dann anschwellend).
Welche Generatoranschlüsse an den Eingang der Stufen gelegt werden müssen, ist leicht zu erfassen. Im II. Manual wird nur ein 8′-Sustain erzeugt. Bild 10.24 gibt ein Beispiel: Zur Taste c^1 gehört S1 jener Stufe, an die über R1 der Generator c^1 anliegt. Die Schalter S1 sind im Kontaktsatz (über jeder Taste ein Schalter) eingebaut. Zur Taste g^2 gehört S1 über der Taste g^2. An die Regelstufe g^2 müssen also dieser Schalter S1 und der Generator g^2 angeschlossen werden.
Im Pedal wird der Abklingeffekt aus den Chören 8′ und 16′ gebildet. Wieder gehören z. B. zusammen: S1 über der Taste G. An die Regelstufe G sind dieser Schalter S1 und die Generatoren G (8′) und G_1 (16′) über die Entkopplungswiderstände R1 und R1′ anzuschließen.
Die Ausgänge aller Regelstufen im II. Manual und im Pedal führen auf je eine Vorverstärkerstufe. Die Widerstände R10 in den Regelstufen entkoppeln die Stufen bei ihrem ausgangsseitigen Zusammenschalten. Den Vorverstärkerstufen folgen die Filter der Sustainregister (s. Übersichtsschaltplan, Bild 9.44).
Bild 10.25 bis Bild 10.28 zeigen den Aufbau der Manual- und Pedalsustainplatinen. Die Platinenanschlüsse sind wieder so angeordnet, daß sich eine einfache und übersichtliche Verdrahtung aller Platinen untereinander ergibt (s. Bild 9.43, Bild 10.16 und Bild 10.17).
Zur Erzeugung eines *künstlichen Nachhalls* wird eine Verzögerungsstrecke (Federhallstrecke) mit Vor- und Nachverstärker benutzt. Bild 10.29 gibt Aufschluß über den schaltungstechnischen Aufbau der Nachhalleinrichtung. Sie ist *parallel* zur

Bild 10.26
Mechanischer Aufbau
der Sustainplatinen





ø 3,1 (Nieten für Lötösen)
ø 5,3 (Löcher für Gewindestangen M5)
ø 10,1 (Durchbrüche für Potentiometerbefestigung)
Größe der Pedalplatine
Pedalplatine (2 Stufen)

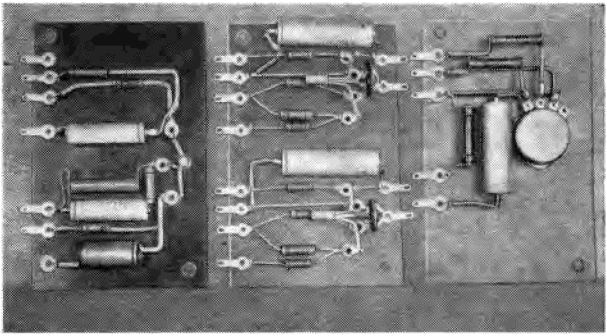


Bild 10.27 Sustainplatinen des Pedals (links: Verstärkerstufe, Mitte: 2 Regelstufen, rechts: Regler und Widerstände der Stromversorgung)

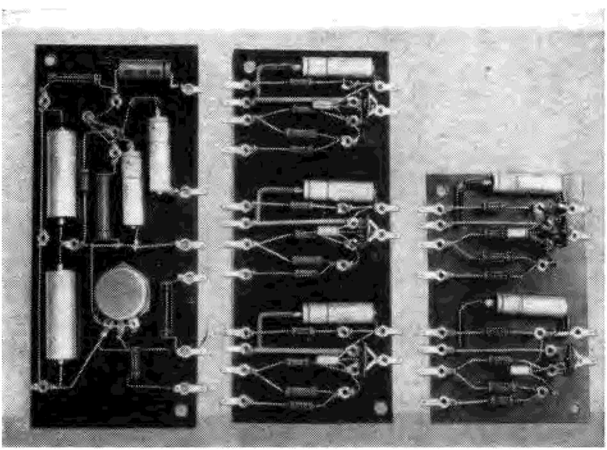
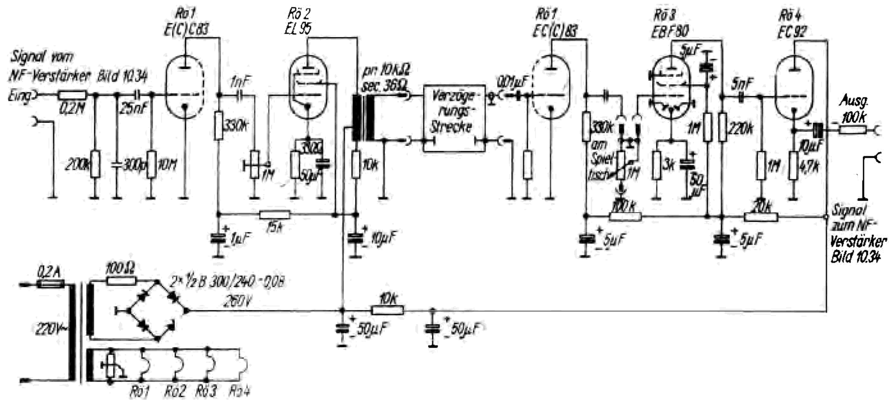


Bild 10.28 Sustainplatinen (links: Verstärkerstufe für die Sustainschaltung des II. Manuals und Bauelemente zur Stromversorgung, Mitte: 3 Regelstufen des II. Manuals, rechts: Platine mit 2 Regelstufen, Pedal)

Bild 10.29
Stromlaufplan der
Nachhalleinrichtung



Impedanzwandlerstufe (s. Bild 10.34) geschaltet. Das gesamte Ausgangssignal gelangt auf den Eingang der Röhre Rö1. Die Schaltung des Verstärkers wurde in Anlehnung an den Originalverstärker der Verzögerungsstrecke (VEB *Goldpfeil*, Hartmannsdorf) aufgebaut. Rö1 arbeitet in Katodenbasisschaltung, die negative Gittervorspannung wird durch Anlaufgitterstrom (Ableitwiderstand 10 MΩ) erzeugt. Die Ausgangsspannung der ersten Verstärkerstufe gelangt über einen Kondensator von 1 nF zum Gitter der Rö2. Diese zweite Stufe ist mit einer Endröhre kleinerer Leistung (*El 95*) bestückt. Im Ausgangskreis der Röhre liegt ein Ausgangsübertrager mit einer Brummkompensationswicklung (Anzapfung der Primärseite). An der Sekundärwicklung des Ausgangstransformators befindet sich die Erregerspule der Verzögerungsstrecke (Input).
Die verhallten Signale am Ausgang (Output) der Verzögerungsstrecke haben nur noch einen geringen Spannungspegel. Die nachfolgenden Röhren *EC(C) 83* und Rö3 verstärken diese Signale. Der Regler (1 MΩ) für die Intensität des Nachhalls liegt zwischen den beiden Röhrenstufen. Es folgt Rö4 als Impedanzwandlerstufe. Der Ausgang des Verstärkers ist damit

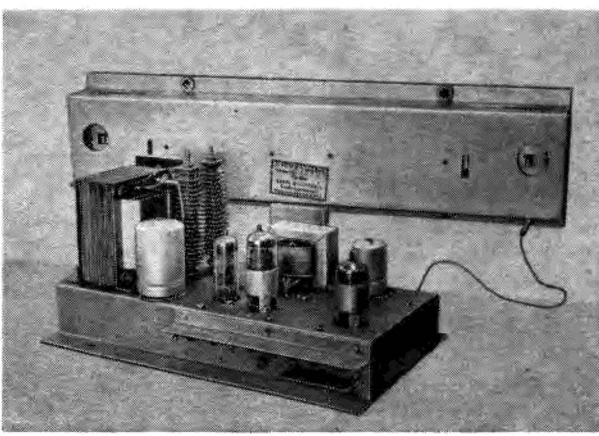


Bild 10.30 Ansicht eines Nachhallverstärkers (im Instrument K1 in ähnlicher Ausführung montiert)

niederohmig. Bild 10.30 zeigt die komplette Halleinrichtung. Beim Spiel lang anhaltender Töne mittlerer und niedriger Frequenzen neigen Federhallstrecken zum Aufschaukeln der Schwingungen im Bereich ihrer Eigenfrequenzen. Dieser Effekt, der besonders bei Instrumenten mit orgelähnlichen Klangeigenschaften auftritt, kann vermieden werden, wenn man die Kopplungskondensatoren zwischen den einzelnen Hallverstärkerstufen verkleinert. In diesem Fall vermindert sich zwar der Anteil der tiefen Frequenzen im Klangbild des Hallverstärkers, jedoch kann dieser Nachteil hingenommen werden, weil es dadurch gelingt, den Hall stärker einzustellen. Da die klanglichen Eigenschaften der Halleinrichtung außerdem von der Beschaffenheit des verwendeten Endverstärkers und der Lautsprecher mit abhängen, müssen die günstigsten

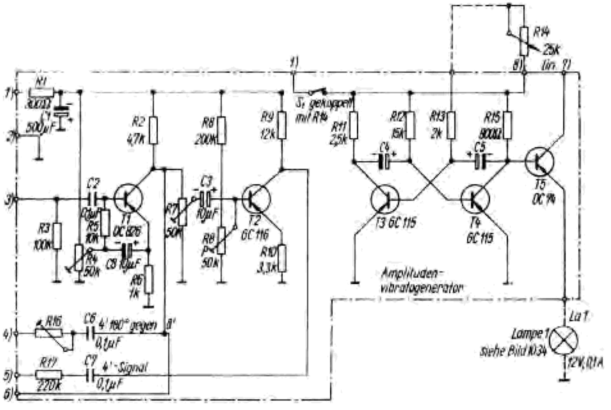


Bild 10.31 Rechteckklangerzeugung und Amplitudenvibratogenerator; Anschlußpunkte:
1 — −12 V vom Netzteil I, dort Anschluß 6 (s. Bild 10.41); 2 — + vom Netzteil I, dort Anschluß 4 (Masse); 3 — 4′-Signal vom Tastenkontaktsatz des II. Manuals (Sammelschiene 4′); 4 — zu den 8′-Registern des II. Manuals (Rechteckklangerzeugung); 5 — zu den 4′-Registern des II. Manuals; 6 — Ausgang zur Perkussionssteuerung; 7 — vom Netzteil I, dort Anschluß 7 (−16 V); 8 — Regler für die Frequenz des Amplitudenvibratos

Werte der Kopplungskondensatoren im Versuch ermittelt werden. Besser ist es, die Nachhallfedern nicht mit Schwingungen im Eigenfrequenzbereich zu erregen. Man filtert diese Frequenzen aus oder baut frequenzabhängige Gegenkopplungen ein (s. Abschnitt 9.4.9. und Bild 9.25). Den Hall darf man bei Federhallstrecken nicht zu stark einstellen, da sonst die nichtlinearen Verzerrungen auf ein unerträgliches Maß ansteigen.
Die Stromlaufpläne nach Bild 10.31 bis Bild 10.34 sind funktionell eng miteinander verknüpft. Zunächst sollen die Rechteckklangerzeugung und der Stromlaufplan des Amplitudenvibratogenerators nach Bild 10.31 betrachtet werden. Die Platine mit den beiden Schaltungen zeigt Bild 10.32.
Die Stufe T1 verstärkt das 4′-Signal des II. Manuals, das zur Rechteckklangerzeugung und zur Steuerung des Perkussionsverstärkers herangezogen wird. Im II. Manual können alle 8′-Register auf Rechteckklang umgeschaltet werden (s. Bild 10.21). Dazu wird nach dem in Bild 6.15 dargestellten Prinzip das 4′-Signal hinter der ersten Verstärkerstufe T1 (s. Bild 10.31) ausgekoppelt (Anschluß 4) und den 8′- Registern des II. Manuals über S4 (s. Bild 10.21) in entgegengesetzter Phasenlage zugeführt. Am Ausgangspunkt 6 (s. Bild 10.31) steht das 4′-Signal für die Perkussionssteuerschaltung zur Verfügung. Der Transitor T2 (s′ Bild 10.31) stellt die Phasenlage des 4′-Signals richtig, das für die 4′-Register des II. Manuals am Ausgang Punkt 5 anliegt. Mit R8 wird die Lautstärke der

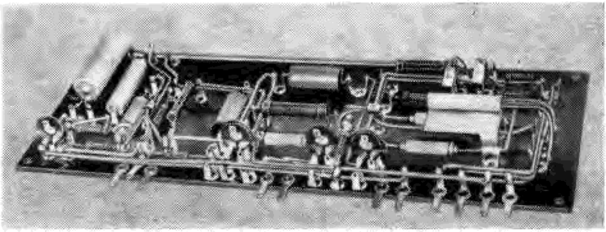


Bild 10.32 Aufbau der Schaltung nach Bild 10.31 auf einer Platine

4′-Register an die der anderen Register angepaßt. R16 ist so einzustellen, daß sich für die 8′-Register *Rechteckklänge* ergeben (s. Bild 6.15).

Der *Amplitudenvibratogenerator* nach Bild 10.31 ist ein einfacher Blinkgeber (*Multivibrator)* mit Verstärkerstufe. Die Lampe La1 liegt beim Fotowiderstand R10 (s. Bild 10.34). Das Funktionsprinzip der Anordnung wurde bereits in Abschnitt 6.1. beschrieben (s. auch Bild 6.9).

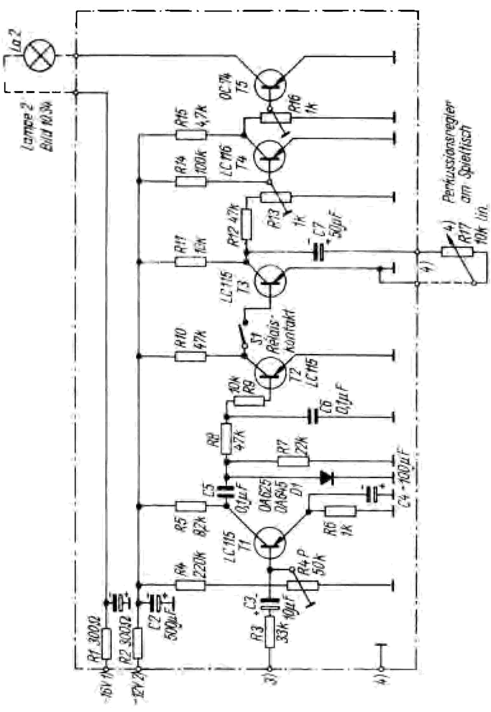


Bild 10.33 Perkussionssteuerschaltung; Anschlußpunkte: 1 — -16 V vom Netzteil I, dort Anschluß 7; 2 — -12 V vom Netzteil I, dort Anschluß 6; 3 — 4′-Signal von der Schaltung nach Bild 10.31
(Netzteil I s. Bild 10.41)

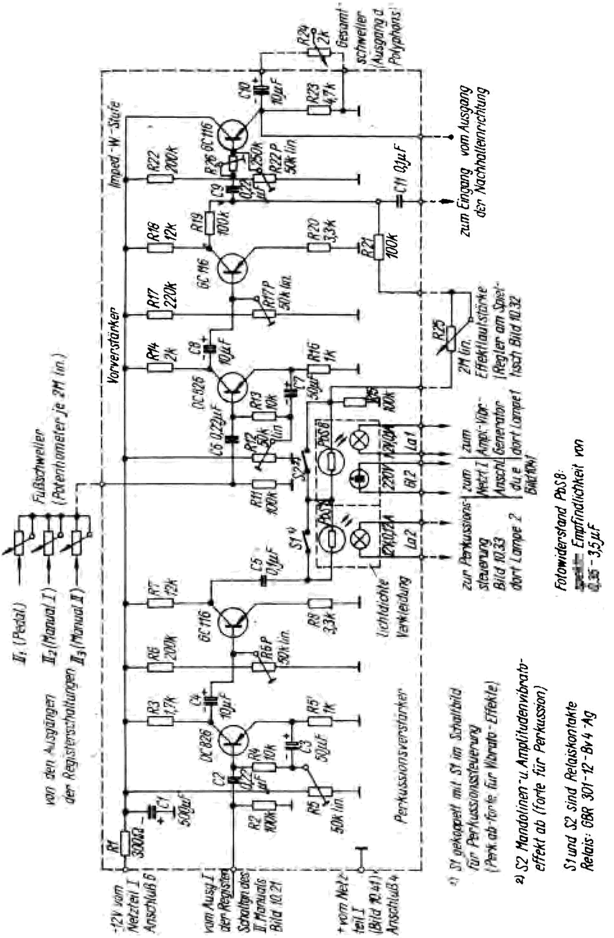


Bild 10.34 NF- und Perkussionsverstärker, Impedanzwandlerstufe (S1 geschlossen bei Vibratoeffekten, S2 geschlossen bei eingeschalteter Perkussion)

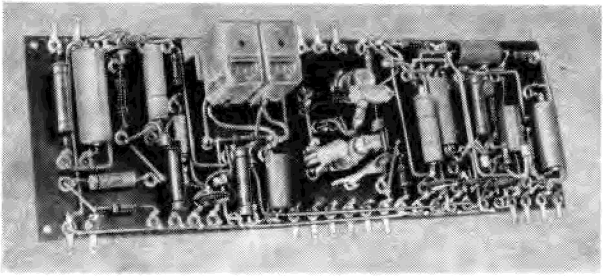


Bild 10.35 Platine mit der Schaltung nach Bild 10.34

Die *Perkussionssteuerschaltung* nach Bild 10.33 erhält ihr Steuersignal (4′) vom Ausgang Punkt 6 (s. Bild 10.31), vorausgesetzt, es wird im II. Manual eine Klaviaturtaste betätigt. T1 (s. Bild 10.33) verstärkt das Signal zunächst weiter. D1 sorgt für einen negativen Spannungssprung an der Basis des Transistors T2 bei eintreffendem Signal. Dieser negative Spannungssprung wird von dem Gleichspannungsverstärker T2 bis T5 weiterverarbeitet.

Solange kein Steuersignal vorhanden ist, zieht T5 Strom und Lampe La2 leuchtet. Beim Eintreffen des 4′-Steuersignals wird T5 langsam gesperrt (Einfluß des C7), wodurch La2 allmählich (Abklingzeit) verlischt. Das über den Fotowiderstand R9 (s. Bild 10.34) geführte Signal setzt lautstark ein und verklingt mit dem Verlöschen der Lampe La2. Zur Einleitung eines erneuten Perkussionseffektes müssen die Tasten losgelassen und erneut angeschlagen werden. In Bild 10.34 ist links der Perkussionsverstärker, in der Mitte der Vorverstärker und rechts eine Impedanzwandlerstufe gezeichnet. Den Platinenaufbau dieser Schaltungen zeigt Bild 10.35. Am Ausgang des Perkussionsverstärkers liegen die Fotowiderstände R9 und R10 für die Perkussions- und Vibratoeffekte. Außer dem Amplitudenvibrato, das im Zusammenwirken von La1 und R10 entsteht, kann mit La2 ein weiteres Vibrato (*Mandolineneffekt*) eingeschaltet werden (s. Netzteil I, Bild 10.41, Kippschwingungserzeugung mit Glimmlampe).

Die Eingangsstufe des Perkussionsverstärkers ist mit einem rauscharmen Transistor für NF-Vorstufen aufgebaut (im Beispiel *OC 826*, die Bestückung ist auch mit einem *GC 101*, einem *GC 117* oder ähnlichen Typen möglich). Der Eingangswiderstand des Verstärkers fällt bei der vorliegenden Schaltung relativ hoch aus. Die Arbeitspunkte der Transistoren können nachgestellt werden (Ausgleich von Exemplarstreuungen).
Die Schaltung des Vorverstärkers (s. Bild 10.34 Mitte) entspricht prinzipiell der Schaltung des Perkussionsverstärkers. Der Vorverstärker verarbeitet Signale, die von den Registerschaltungen (s. Bild 10.21 bis Bild 10.23, Ausgänge II_1, II_2 und II_3) über die Fußschweller herangeführt werden (reine Registerklangfarben).
Die Ausgänge (Perkussions- und Vorverstärker) sind hinter den Entkopplungswiderständen R19 und R21 zusammengeschlossen. In diesem hochohmigen Punkt der Schaltung ist der röhrenbestückte Hallverstärker angekoppelt (s. Bild 10.29). Die Impedanzwandlerstufe (s. Bild 10.34) liegt als Trennstufe parallel zur Halleinrichtung, die ebenfalls mit einer Impedanzwandlerstufe ausgerüstet ist. Die niederohmigen Ausgänge beider Impedanzwandlerstufen (Normal- und Hallsignal) sind an den Schweller R24 (Ausgang des Instruments) angeschlos-

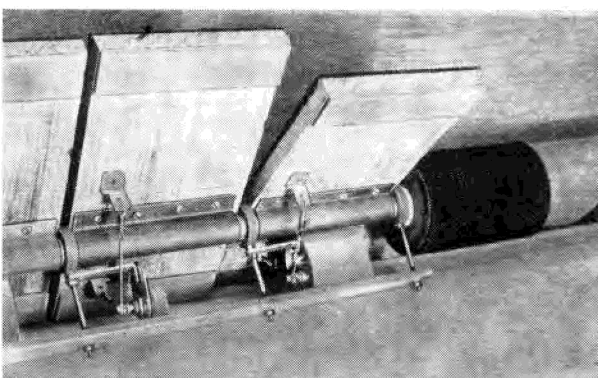


Bild 10.36 Schweller- und Registerwalzenmechanik

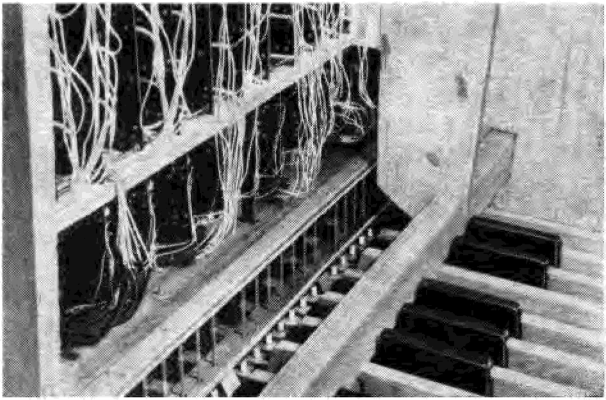


Bild 10.37 Mechanik der Pedaltasten (darüber der Raum zum Einbau der Schweller)

sen. Das am Schleifer des Gesamtschwellers R24 abgegriffene Signal wird einer Verstärkeranlage zugeführt.
Bild 10.36 zeigt den konstruktiven Aufbau der *Fußschweller*. Rechts im Bild ist die *Registerwalze* zu erkennen (s. auch Bild 9.42).
Bild 10.37 zeigt den frei gelassenen Raum im Spieltisch zum Einbau der Schweller. Da sich die Tastenmechanik und der Tastenkontaktsatz des Pedals unterhalb der Schweller befinden, wurde gemäß Bild 10.38 eine *Staubschutzwanne* montiert. Beim Betätigen der Schweller mit Straßenschuhen sammelt sich der eventuell herabfallende Schmutz in der Schutzwanne. Ferner verhindern Dichtungen aus Filzstreifen das Eindringen von Staub in das Innere des Spieltisches. Die Kästen der Kontaktsätze wurden noch zusätzlich mit Filz abgedichtet.

10.1.5. Schalteinrichtungen — Spielhilfen (Baugruppen V nach Bild 9.44)

Es lassen sich 4 Registerkombinationen *frei* vorwählen. Die Konstruktion der Schalteinrichtungen wird verständlich,

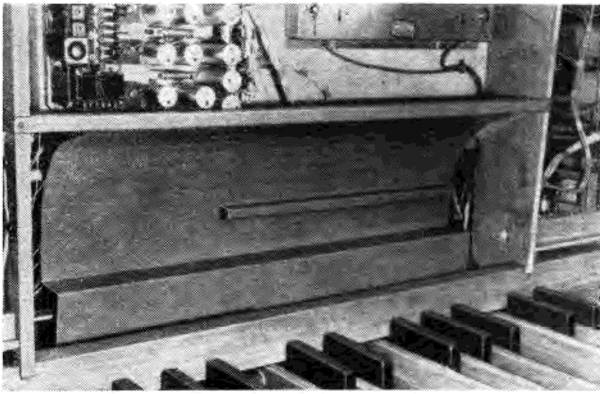


Bild 10.38 Einbau der Schwellerwanne (Schmutzfang)

wenn ihre Bedienung und ihre Schaltfunktionen bekannt sind: Zuerst betätigt man den Druckknopf „freie Kombination I" am Spieltisch unter dem I. Manual (s. Bild 9.42). Dadurch wird der Stromkreis für 2 Zugmagneten geschlossen, die je einen Schaltschieber auf den Schalttafeln rechts und links im Spieltisch bewegen. Nun können auf den Schalttafeln die zur freien Kombination I gehörenden Register nach Belieben zu- oder abgeschaltet werden, bis das Klangbild wunschgerecht ausfällt. Alle vorhandenen Register der Manuale und des Pedals lassen sich im voraus auf diese Weise einstellen.
Wird dann der Druckknopf „freie Kombination II" gedrückt, so fallen die Zugmagneten der freien Kombination I ab, und die zur freien Kombination II gehörenden Zugmagneten ziehen an. In gleicher Weise, wie das bei der freien Kombination I geschah, werden jetzt für die freie Kombination II die Klangbilder der Manuale und des Pedals durch Registerauswahl zusammengestellt. Sind alle 4 freien Kombinationen vorgewählt, dann kann der Vortrag beginnen. Beim Betätigen der Druckknöpfe für die freien Kombinationen schalten sich die jeweils vorgewählten Register bzw. Klangfarben wieder ein. Es ist auch möglich, noch während des Vortrags eines Musikstückes Register zu-, oder bereits eingeschaltete wieder abzuschalten.

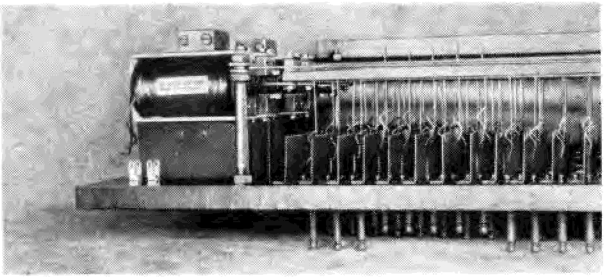


Bild 10.39 Registerschalttafel mit Kontaktsätzen zum Schalten der freien Kombinationen

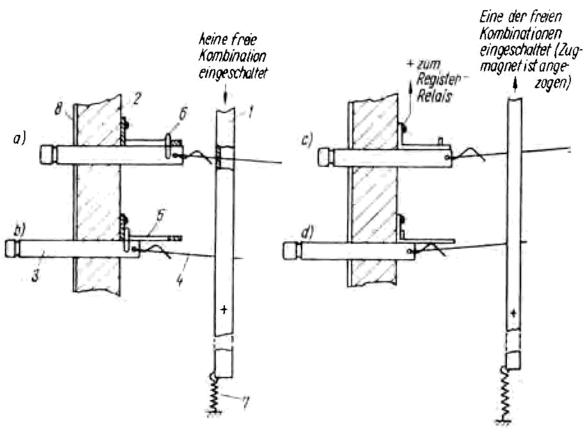


Bild 10.40 Funktionsprinzip der Register-Vorwahlschalter (freie Kombinationen); 1 — Schaltschieber einer freien Kombination (Messing-U-Profil); 2 — Grundplatte (Vinidur); 3 — Registerzugstift (Vinidur); 4 — Kontaktfeder (Messingdraht, federhart); 5 — Kontaktblech (Messing); 6 — Führungs-Kerbstift; 7 — Rückholfeder; 8 — Schichtpreßstoffplatte (graviert)
a — freie Kombination aus, Register nicht vorgewählt; b — freie Kombination aus, Register vorgewählt, c — freie Kombination ein, Register nicht vorgewählt, Register bleibt ausgeschaltet; d — freie Kombination ein, Register vorgewählt, Register schaltet sich ein

Bei Konzerten kann eine zweite Person Registerkombinationen vorwählen, während das Instrument mit einer anderen Kombination gespielt wird. In diesem Fall müssen die Registrierungen vorher festgelegt und notiert werden.
Auf den Schalttafeln sind auch jene 9 Schalter vorhanden, mit denen sich die Register des II. Manuals in 9 Fußlagen wahlweise, z. B. die 2'- und 8'-Register oder nur die 8'-Register usw.) auf den Perkussionsverstärker schalten lassen (siehe Bild 10.21, Schalter S1, S3, S15, S19, S21, S23, S26, S28 und S30).
Im Spieltisch ist links und rechts der Manuale je eine Schalttafel montiert. Bild 10.39 zeigt Zugmagneten und Schalterreihen einer Schalttafel (freie Kombinationen). Die mit den Zugmagneten verbundenen Schaltschieber sorgen dafür, daß alle innerhalb einer freien Kombination vorgewählten Registerschalter die Stromkreise der betreffenden Registerrelais schließen und sich die Register einschalten, wenn der Druckknopf für die betreffende freie Kombination betätigt wird. In Bild 10.40 ist das Funktionsprinzip eines Vorwahlschalters dargestellt.
Die Registerwalze schaltet während einer knappen Umdrehung der Reihe nach zuerst die leisen und dann die lauter klingenden Register ein. Die richtige Klang- und Lautstärkeverteilung zwischen den Manualen und dem Pedal ist in jeder Stellung der Walze gewährleistet. Am Anschlag der Walze sind alle 60 Register des Instruments eingeschaltet („volles Werk", Tutti). Das aufeinanderfolgende Einschalten der Register in Abhängigkeit vom Drehwinkel der Walze wird durch einen auf den Umfang der Walze wendelförmig aufgebrachten Metallbelag, auf dem ein Kontaktrechen schleift, erreicht (s. Bild 10.5). Auf dem Metallbelag der Walze liegt ein Pol der Gleichspannung für die Registerrelais. Jede Registerrelaisspule ist einpolig an einen der Kontaktdrähte des Kontaktrechens angeschlossen. Bei Kontaktgabe zwischen dem Metallbelag der Walze und den Kontaktdrähten des Rechens schalten sich die angeschlossenen Register ein. Die Stellung der Walze wird im Bedienungsteil des Instruments optisch angezeigt.

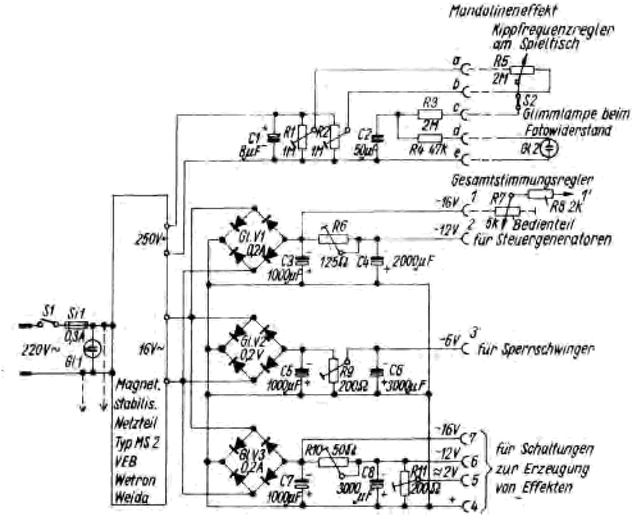


Bild 10.41 Netzteil I

10.1.6. Stromversorgungsteile (Baugruppen VI nach Bild 9.44)

Der Stromlaufplan des Netzteils nach Bild 10.41 wird nur wegen der Vollständigkeit beigefügt. Vorteilhafter zur Stabilisierung der Verbraucherspannungen sind Schaltungen mit Z-Dioden (z. B. nach Bild 6.30).

Beim Bau des Instruments K1 wurde ein *magnetisch stabilisierter* Netzteil eingebaut. Für die einzelnen Verbraucherstromkreise wurden voneinander getrennte Gleichrichterstrecken und Siebketten vorgesehen. Das ist besonders für die Speisespannungen der Steuergeneratoren und Teilerstufen von Bedeutung. Die Gleichstrombelastung des Gleichrichters V3 schwankt durch die angeschlossenen Glühlampen (Effektschaltungen) etwas. Im Stromlaufplan rechts oben ist die Glimmlampenkippschaltung zu sehen, auf die in Abschnitt

10.1.4. (Erzeugung des Mandolineneffektes) hingeweisen wurde. Gl 2 muß besonders sorgfältig in unmittelbarer Nähe von R10 (s. Bild 10.34) montiert werden, da die Intensität des Lichtes der Glimmlampe klein ist und die Lichtwellenlänge an der Grenze der spektralen Empfindlichkeit des *CdS 8* liegt.

Der Montage der Netztransformatoren und Drosseln im Spieltisch muß besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, um *Brummeinstreuungen* durch magnetische Streufelder (Netzfrequenz) zu verhindern. Sehr empfindlich reagieren die Drosseln in den Registerfiltern auf magnetische Wechselfelder der Netztransformatoren. Die geringsten auf die Drosseln induzierten Wechselspannungen führen durch die nachfolgende Verstärkung zu einem lästigen Brummen, wenn man Register einschaltet, deren Filter mit Drosseln aufgebaut sind. In schwierigen Fällen müssen die Netzteile oder die Transformatoren in Schräglage (Brumminimum) eingebaut werden (s. Bild 9.42 unten links, Netzteil II).

Der Netzteil II nach Bild 10.42 liefert etwa 12 V Gleichspannung zur Stromversorgung der Schaltungen für die *Spielhilfen* (Registerwalze, freie Kombinationen). Da nur die Magnetspulen der Registerrelais und Zugmagneten von dem Gleichstrom durchflossen werden, wurde keine besondere Spannungsstabilisierung vorgesehen. Die niederohmig gewickelte Netzdrossel hält den Innenwiderstand der Gleichstromquelle klein. Die Siebglieder sind so bemessen, daß kein „Brumm" über die Relaisspulen auf die Registerdrosseln einstreut (Relais und Registerdrosseln liegen gemeinsam auf den Registerplatinen). Der Netztransformator ist als *Trenntransformator* gewickelt (M 85). Er wurde überdimensioniert, so daß sich bei wechseln-

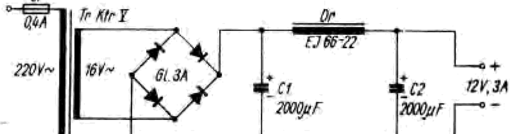


Bild 10.42 Netzteil II

der Belastung nur geringe Spannungsänderungen an der Sekundärwicklung ergeben.

10.1.7. Spieltischgehäuse

Das Gehäuse eines Instruments umschließt alle mechanischen und elektronischen Baugruppen, um sie vor äußeren Einflüssen zu schützen. In und am Gehäuse befinden sich Befestigungselemente für die Baugruppen und Bedienungseinrichtungen. Häufig wird der Innenraum eines Instruments zur Aufnahme verschiedener Baueinheiten in Kammern unterteilt, oder es werden Rahmen, Kästen oder Chassis im Gehäuse montiert. In jedem Fall muß der gesamte Gehäuseaufbau ausreichend *stabil* sein. Durchbiegungen und Verzüge können sich auf die Funktion besonders der mechanischen Baugruppen sehr negativ auswirken. Zum Bau von Gehäusen sollte man stets abgelagertes und trockenes Holz verwenden. Größere Holzflächen (Seitenteile, Zwischenwände, Böden usw.) müssen aus *abgesperrten* Platten angefertigt werden. Die Holzverbindungen wie Zapfen, Zinken, Dübelungen usw. sind zweckentsprechend anzuwenden, exakt auszuführen und möglichst mit wasserfesten Klebern (z. B. PVAC-Holzklebstoff) zu fügen.
Die Formgestaltung und die Oberflächenbehandlung der Gehäuse entsprechen dem Äußeren von Möbelstücken. Spieltische für größere Polyphone[2] müssen von Fachleuten hergestellt werden, da die Holzteile meistens nicht in der Heimwerkstatt bearbeitet werden können (Fügen, Furnieren usw.). Dazu muß man Zeichnungen vorlegen, aus denen mindestens alle wichtigen Maße und damit die Form des Gehäuses hervorgehen. Die Arten der Holzverbindungen legt der Fachmann fest. Außerdem sind die Holzart und die Oberflächenveredelung zu vereinbaren (mattiert, poliert oder z. B. mit Effektfolie überzogen).
Als Beispiel wird in Bild 10.43 die Gehäusezeichnung des Instruments K1 gezeigt. Es handelt sich um einen großen Spiel-

[2] Definition siehe Teil 1, Fußnote S. 11

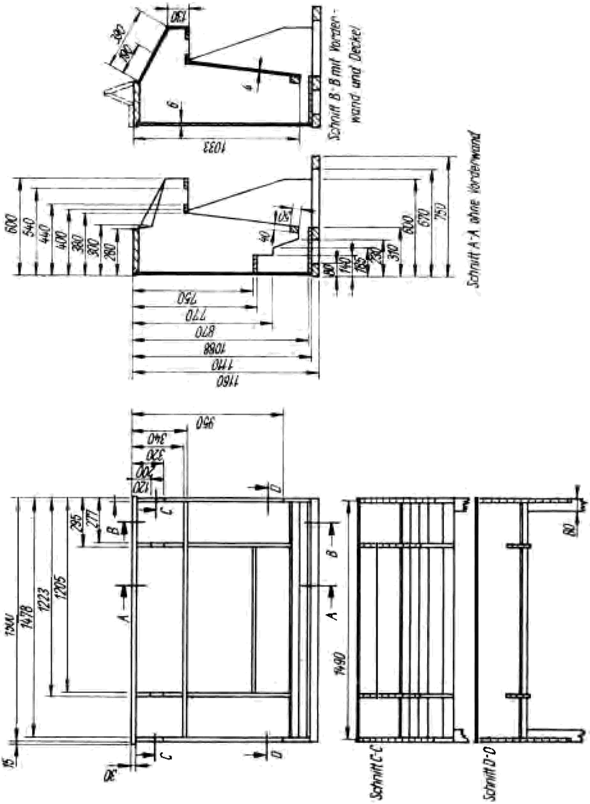


Bild 10.43 Gehäuse des Instruments K1 (Konstruktion und Bemaßung)

tisch. Dem Entwurf des Gehäuses ging die Planung des *Gesamtaufbaus* des Instruments voraus (Platzbedarf der Baugruppen und ihre Verteilung im Spieltisch). Man sollte nicht zu eng konstruieren, da fehlender Raum zu erheblichen Schwierigkeiten beim Zusammenbau eines Instruments führen kann. Gehäuseformen werden in Abschnitt 12. (Teil 4) vorgestellt.

10.2. Das Instrument TO 10 (Weltmeister)

Bei der volltransistorisierten Kleinstorgel *TO 10* (s. Bild 10.44) wurden neue Wege im konstruktiven Aufbau des Instruments beschritten. Alle Baugruppen setzen sich aus steckbaren Bausteinen zusammen, oder die Baugruppen bilden selbst in sich abgeschlossene Steckeinheiten (z. B. Vibratogenerator, hier als Tieffrequenzgenerator bezeichnet). Das Instrument zeichnet sich durch geringe Abmessungen, schlichte Form und durch geringes Gewicht aus und läßt sich vielseitig verwenden. Die technischen Daten geben Aufschluß über die gesamte Ausstattung des Instruments:

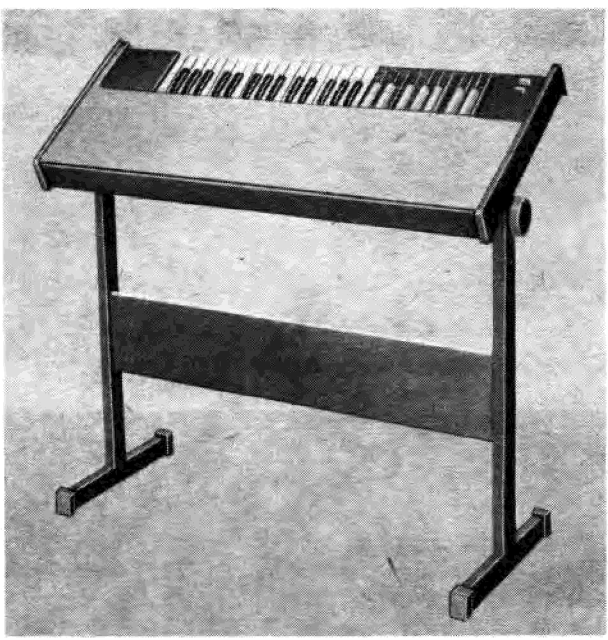


Bild 10.44 Kleinstorgel *TO 10* (*Weltmeister*)

(Auszüge aus den Serviceunterlagen für die *TO 10*)

Klaviatur:	4 Oktaven, 49 Tasten; davon 2,5 Oktaven (32 Tasten f bis c^3), polyphon spielbar 1,5 Oktaven (17 Tasten, Handbässe C bis e), monophon spielbar
Klingender Umfang:	5 Oktaven C ≙ 56,4 Hz bis c^4 ≙ 2093 Hz
Chöre:	Diskant 8′ und 4′, Handbässe 8′ und 16′
Register:	Diskant: 2 × 8′ in 4 Schalterstellungen, 2 × 4′ in 4 Schalterstellungen, Handbässe: 1 × 16′ Bourbon, 1 × 8′ Bass
Vibrato:	fest einstellbar (Frequenz)
Lautstärkeregelung:	Balanceregler
Stromversorgung:	Netz 110 bis 125 V, 220 bis 240 V Wechselspannung, Verbraucherstromkreis stabilisiert
Ausgang:	500 mV an maximal 100 Ω
Abmessungen:	922 mm × 372 mm × 75 mm
Gewicht:	13 kp (ohne Koffer)

Der Netzteil NT 1 des Instruments ist über eine Messerkontaktleiste mit der Baugruppe Tongenerator/Tastsystem verbunden. Es folgt die Baugruppe Filter, die die Tonfrequenzsignale verstärkt und sie spektral zur Klangfärbung beeinflußt.

Funktionsprinzip:

12 Steueroszillatoren erzeugen hochkonstante Sinusschwingungen für die oberste Oktave. Jedem Steueroszillator folgt eine Trennstufe, die die Umwandlung in Rechteckschwingungen bewirkt. Die Tonfrequenzen für die tieferen Oktaven werden Flip-Flop-Teilerstufen entnommen. Die Tastenkontakte schalten die Tonfrequenzen weiter, sie werden nachverstärkt und gelangen zu den Filtern (subtraktive Klangfarbenbildung

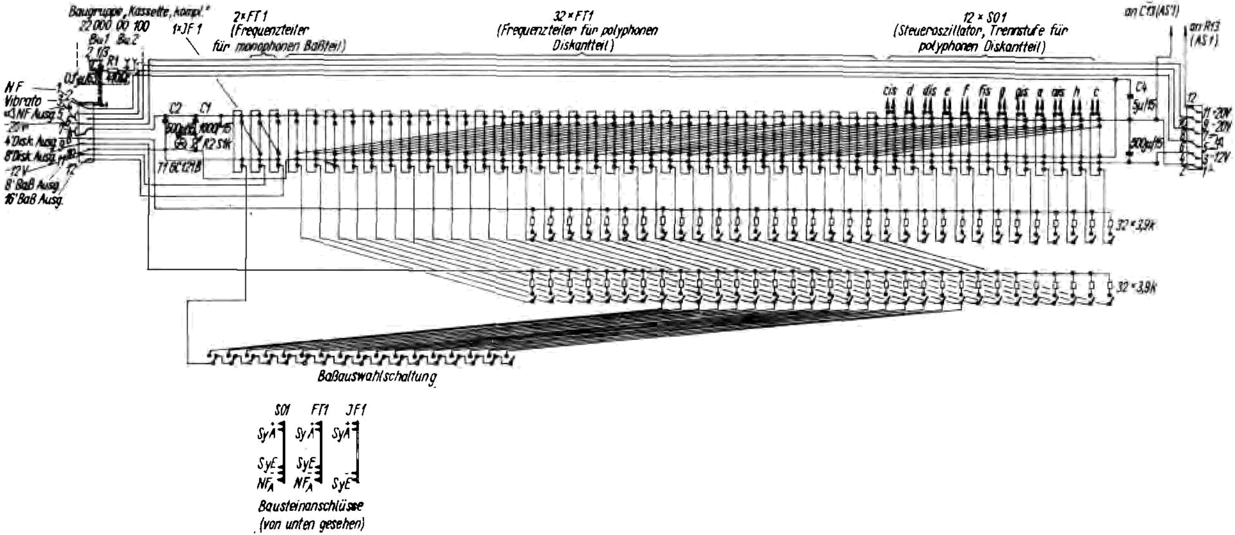


Bild 10.45 Baugruppe Tongenerator/Tastsystem

— Abbau von Oberwellen — selektive Methode). Nach nochmaliger Verstärkung gelangt das Tonfrequenzsignal zu den Ausgangsbuchsen.

Wörtlicher Auszug aus den Serviceunterlagen:
Funktionsbeschreibung der Baugruppe TG/TS (Tongenerator/Tastsystem) nach Bild 10.45
„Über eine Steckverbindung erfolgt die Zuführung der Betriebsspannung –20 V, +20 V, –12 V einschließlich Bezugspotential vom externen Baustein NT 1. Die Spannung –12 V speist 12 Bausteine SO 1 und 32 Bausteine FT 1. Diese erzeugen (SO 1 in Verbindung mit dem AS 1) die Tonfrequenz des Diskantbereichs f bis c^4. Verkopplungen über U_B –12 V vermeidet C3. Die Ausgänge der SO 1 und FT 1 sind mit den beweglichen Tastenkontakten der beiden Chöre 8′ und 4′ verbunden. Je ein Baustein SS 1 A, SS 1 B und SS 1 C je Chor dient zur Gegenkontaktierung und Entkopplung der Ausgänge SO 1 und FT 1 des Diskantbereichs. U_B –12 V speist ferner ein elektronisches Siebglied, das aus den Bauelementen T1, C1, C2, R1 und R2 besteht. Es liefert eine nochmals gesiebte Spannung von –11,4 V für die Bausteine IF 1 und 2 weitere FT 1. Die beiden letzteren dienen gleichzeitig zur Erzeugung der monophonen Bässe in der 16′- und 8′-Lage.
17 Tonfrequenzspannungen (c bis e^2) werden im 8′-Chor abgegriffen und einer Auswahlschaltung mit Vorzugsselektion der jeweils tiefsten Frequenz zugeführt. Der Ausgang dieser Auswahlschaltung ist mit dem Eingang des IF 1 verbunden, dieser steuert die beiden FT 1 in Kaskadensynchronisation an. Das Tastsystem arbeitet nach dem Prinzip der galvanischen Auskopplung in Brückenschaltung. Der mit R2 einstellbare Spannungsabfall an T1 bewirkt gleichzeitig den exakten Brückenabgleich. C4 entkoppelt die Vibratoeingänge der 12 Steueroszillatoren SO 1. Eine zweite Steckverbindung stellt alle Anschlüsse auf Baugruppe Filter her. Diese sind ausgangsseitig die Tastsystemsammelschienen 8′ und 4′ Diskant, die Baßteiler 8′ und 16′, die zusätzlich gesiebte Spannung –11,4 V, die Betriebsspannung –20 V, das Bezugspotential (+). Eingangsseitig sind es die Vibratospannung, der NF-Ausgang des

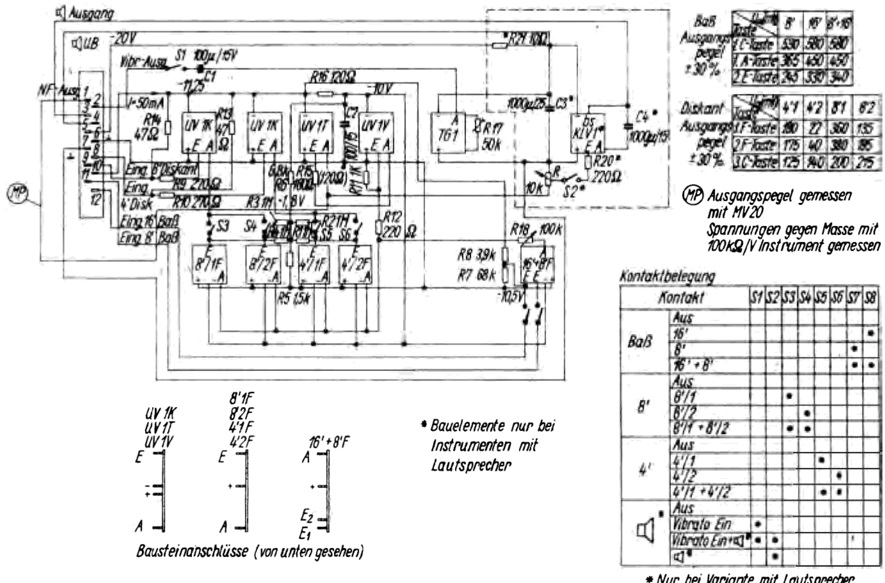


Bild 10.46
Baugruppe Filter (Übersichtsschaltplan)

Instruments und bei eingebautem Kontrollautsprecher die beiden Lautsprecheranschlüsse.

Funktionsbeschreibung der Baugruppe Filter (Bild 10.46 und Bild 10.47)

Die Baugruppe Filter beinhaltet alle zur Verstärkung, Klangfärbung und Effekterzeugung erforderlichen Bausteine, Sieb- und Koppelelemente. Alle Ein- und Ausgänge sind über Steckverbindungen geführt.

Betriebsspannungseingänge:

- Über Stifte 6/7 Verbindung zum Bezugspotential (+).
- Über Stifte 10 Zuführung von —11,4 V für den Baustein UV 1 K für die Ausgangsverstärkung (für *TO 10* mit Lautsprecher dient zur Ausgangsverstärkung ein UV 1 T). Die —11,4 V dienen nach einer Zusatzsiebung durch R16/C2 zur Stromversorgung des UV 1 für die Filternachverstärkung.
- Über Stift 5 —20 V für Baustein TG 1 (für *TO 10* mit Lautsprecher auch für KLV 1, nur in diesem Fall gemeinsame Zusatzsiebung mit R21/C3.

Tonfrequenzeingänge:

- Über Stift 9 8′-Diskant, R14 ist der Brücken- und Lastwiderstand der Tastsystemsammelschiene 8′, über R9 erfolgt die Einkopplung auf den UV 1 K zur Koppelverstärkung, sein Ausgang gelangt über die Registerschalter S3 und S4 auf die Filterbausteine 8′ 1F und 8′ 2F.
- Über Stift 8 4′-Diskant, R13 ist der Brücken- und Lastwiderstand der Tastsystemsammelschiene 4′, über R10 erfolgt die Einkopplung auf den UV 1 K zur Koppelverstärkung, sein Ausgang gelangt über die Registerschalter S5 und S6 auf die Filterbausteine 4′ 1F und 4′ 2F.
- Über Stift 12 16′ Handbaß zum Registerschalter S7, danach zum Eingang 16′ des Baßfilters 16′ + 8′ und über Stift 11 8′ Handbaß zum Registerschalter S8 und danach zum Register 8′ desselben Filters. Der Spannungsteiler R7/R8 sorgt für eine Schaltgeräuschverringerung. Die Ausgänge aller Diskantfilter sind mit der Filtersammelschiene verbunden, das Baßfilter über den regelbaren R18 zur Ba-

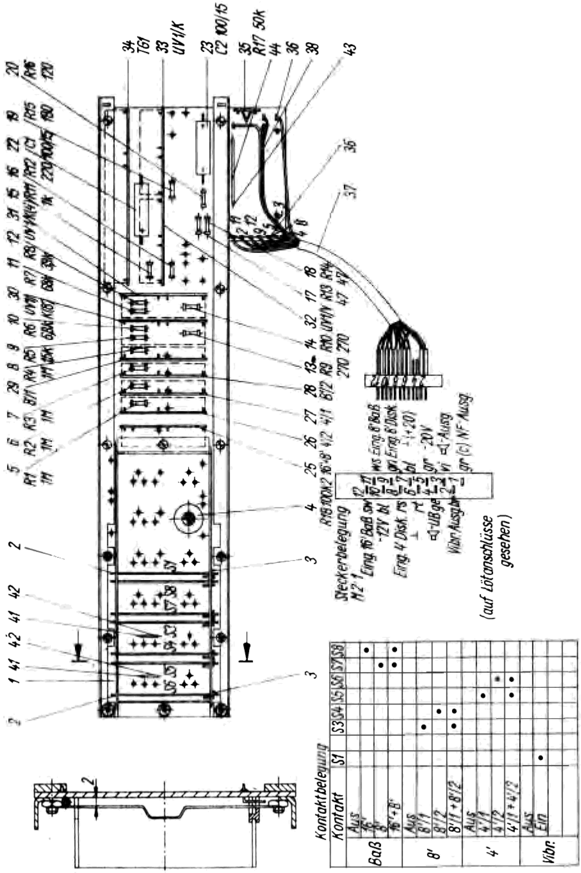


Bild 10.47 Baugruppe Filter (komplett verdrahtet)

lanceeinstellung. R12 dient zur Ankopplung dieser Sammelschiene an den Eingang des Filternachverstärkers UV 1 V, R11 legt die Filterausgänge an Bezugspotential. Der Ausgang des UV 1 V ist über R 15 mit dem Eingang eines weiteren UV 1 K zur Ausgangsverstärkung verbunden (*TO 10* mit Lautsprecher; dafür UV 1 T).

Betriebsspannungsausgänge:

— Bei *TO 10* mit Lautsprecher —20 V gesiebt über Stift 4 zum Lautsprecher.

Wechselspannungsausgänge:

— Über Stift 5 Vibratoschalter S1 und C1 Auskopplung der vom TG 1 erzeugten Vibratofrequenz, eine Frequenzregelung ist mit R17 möglich. (Bei *TO 10* mit Lautsprecher ist der Leistungsverstärkerbaustein KLV 1 eingangsseitig über K19 zur Lautstärkeregelung, R20 und dem Betriebsartschalter S2 mit dem Ausgang des Ausgangsverstärkers UV 1 T verbunden. Der Ausgang des KLV 1 ist über C4 und den Stift 3 mit dem Lautsprecher verbunden.)

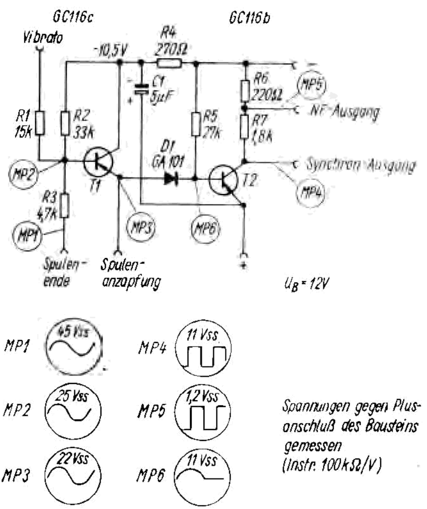


Bild 10.48 Baustein SO 1, Steueroszillator (Stromlaufplan)

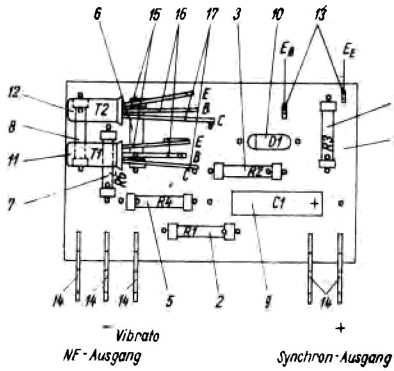


Bild 10.49 Baustein SO 1, Steueroszillator (Bestückungsplan)

Beschreibung der Bausteine, die in der Baugruppe Tongenerator/Tastsystem eingebaut sind:

Baustein SO 1 (Steueroszillator) Bild 10.48 bis Bild 10.50
Der Baustein SO 1 weist sämtliche Schaltmittel des Steueroszillators und der Trennstufe auf, außer solchen, die fre-

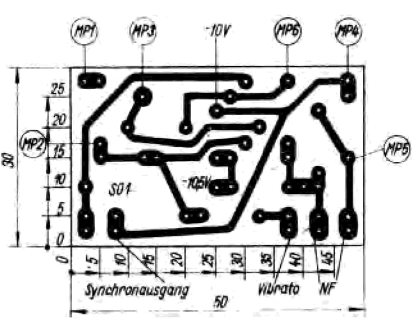


Bild 10.50 Baustein SO 1, Steueroszillator (Leiterplatte, Leiterbild)

quenzbestimmenden oder temperaturkompensierenden Einfluß haben (sie befinden sich auf Baustein AS 1).

Baustein AS 1 (Bild 10.51 und Bild 10.52)
Auf diesem Baustein (Leiterplatte) sind die frequenzbestimmenden Bauelemente C1 bis C12, L1 bis L12 und die den Rückkopplungsfaktor und den Vibratohub bestimmenden Widerstände R1 bis R12 angeordnet. Zur Vermeidung disharmonischer induktiver gegenseitiger Beeinflussung sind die Schwingkreise im Quintenzirkel verteilt.

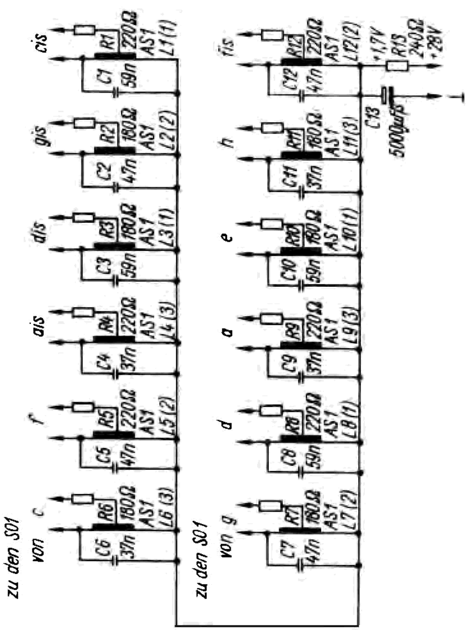


Bild 10.51 Abstimmsatz AS 1 (Stromlaufplan)

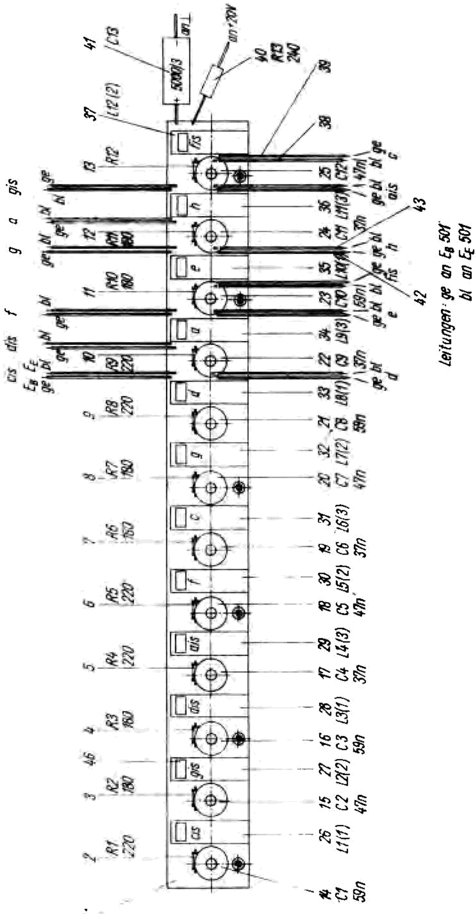


Bild 10.52 Abstimmsatz AS 1 (komplett verdrahtet)

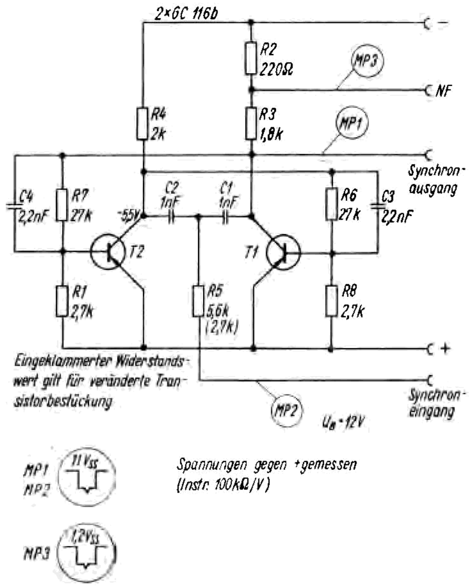


Bild 10.53 Baustein FT 1 (Frequenzteiler)

Baustein FT 1 (Frequenzteiler) Bild 10.53

Der FT 1 arbeitet als aperiodischer Frequenzteiler in Flip-Flop-Schaltung. Als Schalter dienen die Transistoren T1 und T2. Zur gleichzeitigen Arbeitspunkteinstellung und wechselseitiger Rückkopplung dienen in bekannter Weise die Widerstände R7/R1, R6/R8 und C4/C3. Der Steuersynchronimpuls wird über R5 und C1/C2 beiden Kollektoren gleichzeitig zugeführt. R4 ist der R_a von T2, der R_a von T1 ist mit R3/R2 als Spannungsteiler ausgebildet. Der niederohmige Ausgang ist durch diese Maßnahme kurzschlußfest und führt zu hohen Übersprechdämpfungen in den Folgeschaltungen (Tastsystem).

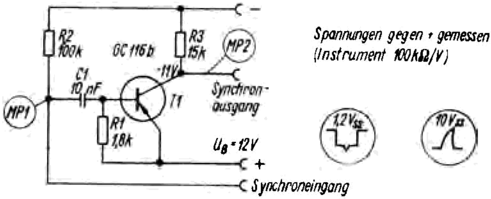


Bild 10.54 Baustein IF 1 (Impulsverstärker)

Baustein IF 1 (Impulsverstärker) Bild 10.54
Der IF 1 arbeitet als Impulsverstärker in Emitterschaltung. Das seinem Eingang zugeführte Signal vom NF-Ausgang eines FT verstärkt und formt er so weit, daß ein folgender FT 1 angesteuert über seinen Synchroneingang, einwandfrei teilt. Das Signal gelangt über C1 unter gleichzeitiger Differenzierung an die Basis von T1, R2 legt den eingangsseitigen Belag von C1 an $-U_B$, um Schaltspitzen zu vermeiden. R1 verbindet die Basis mit $+U_B$, eine Vorspannung kann entfallen, weil mit negativen Impulsen aufgetastet wird. R3 ist R_a von T1.

Baustein SS 1 A (Sammelschiene 13polig) Bild 10.55
Auf diesem Baustein (Platine) befinden sich die festen Gegenelektroden des Tastsystems und die zugehörigen Entkopplungswiderstände R1 bis R13. Bei 2manualiger Ausführung kommen noch die Entkopplungswiderstände des Zusatzkanals R14 bis R26 hinzu. Der Baustein umfaßt 13 Halbtöne (für eine

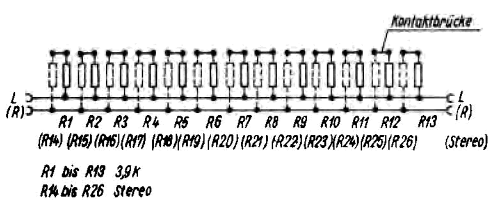


Bild 10.55 Baustein SS 1 A (Sammelschiene 13polig)

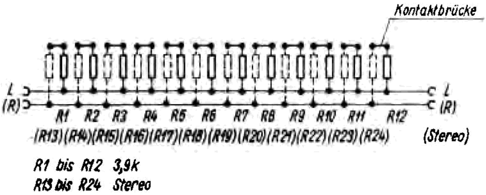


Bild 10.56 Baustein SS 1 B (Sammelschiene 12polig)

Oktave plus eine Zusatztaste rechts). Anwendung für den Bereich C bis C.

Baustein SS 1 B (Sammelschiene 12polig) Bild 10.56
Dieser Baustein entspricht dem SS 1 A, er weist jedoch nur 12 Halbtöne auf. – Anwendungsbereich C bis H.

Baustein SS 1 C (Sammelschiene 7polig) Bild 10.57
Dieser Baustein entspricht dem SS 1 B, seine Bestückung mit Kontakten und R1 bis R7 ist jedoch, von rechts außen beginnend, nach links nur für 7 Halbtöne ausgelegt. Anwendung für den Bereich F bis H.

Beschreibung der Bausteine, die in der Baugruppe Filter eingebaut sind:

Baustein UV 1 K (Variante Koppelverstärker) Bild 10.58
Über C1 gelangt das Signal an die Basis von T1 (Emitter-

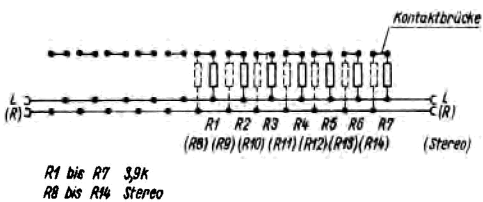


Bild 10.57 Baustein SS 1 C (Sammelschiene 7polig)

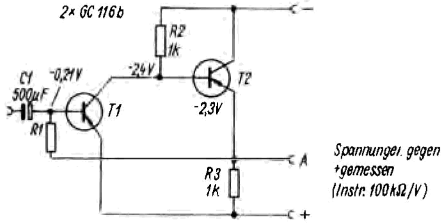


Bild 10.58 Baustein UV 1 K (Variante Koppelverstärker)

schaltung). Vom Kollektor T1 führt der Signalweg in galvanischer Kopplung weiter zur Basis von T2 (Kollektorschaltung). R2 ist R_a von T1, R3 ist R_a von T2. R1 stellt den Arbeitspunkt von T1 ein und bewirkt eine Gegenkopplung, die Eingangs- und Innenwiderstand in gewünschter Weise beeinflußt, die Verzerrungen reduziert und eine hohe thermische Stabilität gewährleistet. Trotz sparsamsten Schaltmitteleinsatzes erfüllt der UV 1 hohe qualitative Forderungen.

Baustein UV 1 V (Variante Vorstufenverstärker) Bild 10.59
Diese UV-1-Variante unterscheidet sich vom UV 1 K nur durch die vertauschte Polarität des Eingangs-Elektrolytkondensators C1.

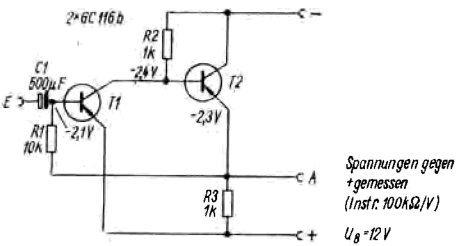


Bild 10.59 Baustein UV 1 V (Variante Vorstufenverstärker)

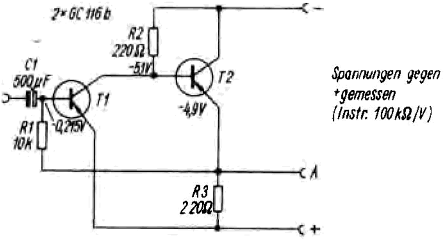


Bild 10.60 Baustein UV 1 T (Variante Treiberverstärker)

Baustein UV 1 T (Variante Treiberverstärker) Bild 10.60

Die Unterschiede dieser Variante bestehen gegenüber UV 1 K in den um den Faktor 4,5 im Wert reduzierten Arbeitswiderständen R2 und R3, um die für die Aussteuerung des KLV 1 notwendige Steuerleistung bereitzustellen.

Baustein KLV 1 (Kleinleistungsverstärker) Bild 10.61

Der KLV 1 arbeitet als Großsignalverstärker in eisenloser Gegentaktschaltung in nichtkomplementärer Ausführung. Das

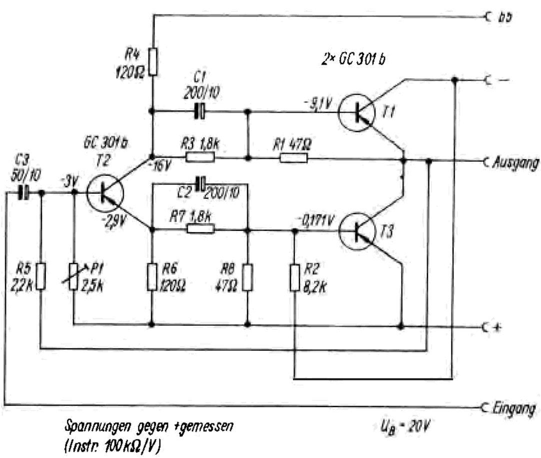


Bild 10.61 Baustein KLV 1 (Kleinleistungsüberträger)

Steuersignal gelangt über C3 an die Basis von T2. T2 wirkt als Phasenumkehrstufe in Phase-Split-Schaltung. R4 und R6 dienen als R_a am Kollektor und Emitter von T2. Vom Kollektor T2 führt C1 das Signal der Basis von T1 zu, vom Emitter T2 führt C2 das Signal der Basis von T3 zu. In galvanischer Kopplung mit dem Kollektor T2 dienen R3 und R1 als Basisspannungsteiler zur Arbeitspunkteinstellung von T1. In Verbindung mit dem Emitter von T2 und T3 gilt für R7 und R2 sinngemäß das gleiche. Der Widerstand R2 beseitigt eine Restasymmetrie im Zusammenhang mit der Ruhestromeinstellung. Über R5 und P1 erfolgt die Arbeitspunkteinstellung von T2. Gleichzeitig bewirkt R5 infolge kräftiger Gegenkopplung eine thermische Stabilisierung der Gesamtschaltung und eine Verringerung der Verzerrungen. P1 gestattet eine exakte Symmetrieeinstellung trotz Transistorexemplarstreuungen.

Baustein TG 1 (Tieffrequenzgenerator) Bild 10.62

Der TG 1 arbeitet als Phasenschiebergenerator.

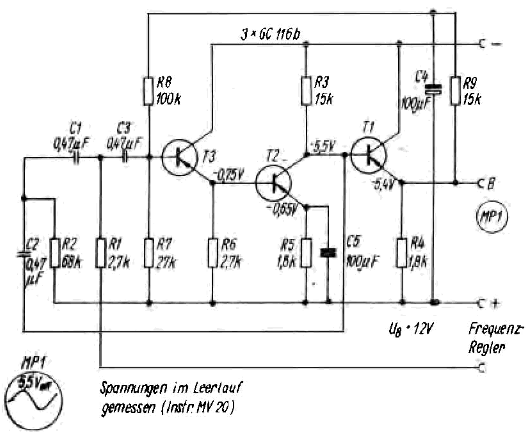


Bild 10.62 Baustein TG 1 (Tieffrequenzgenerator)

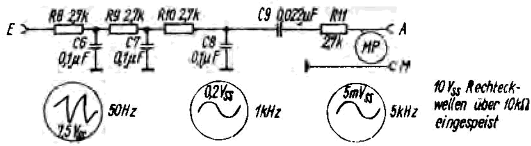


Bild 10.63 Baustein 8′ 1 (Filter)

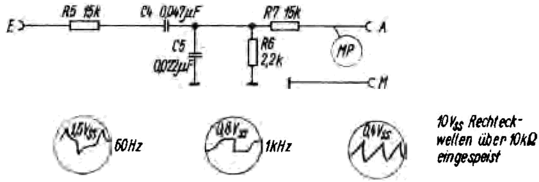


Bild 10.64 Baustein 8′ 2 (Filter)

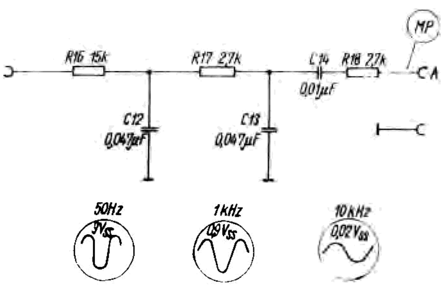


Bild 10.65 Baustein 4′ 1 (Filter)

Baustein 8′ 1 (Bild 10.63)

Dieser Baustein wirkt als Filter in RC-Technik. Schaltungstechnisch liegt ein 3gliedriger Tiefpaß vor, R8 dient gleichzeitig zur Eingangsentkopplung, C9 und R11 zur Ausgangskopplung und weiter zur Frequenzgangbeeinflussung.

Baustein 8′ 2 (Bild 10.64)

Dieser Baustein wirkt als Filter in RC-Technik (1stufige Integration, kombiniert mit einer zusätzlichen frequenzabhängi-

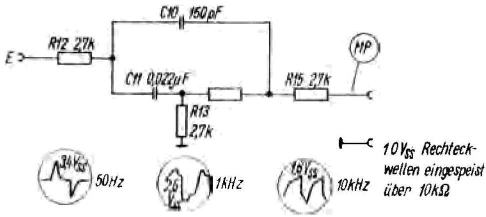


Bild 10.66 Baustein 4′ 2 (Filter)

gen Gegenkopplung). Über R5, C4 erfolgt die Einkopplung, C5, R6 besorgen die Integration bzw. die frequenzabhängige Spannungsteilung und R7 die Ausgangsentkopplung.

Baustein 4′ 1 (Bild 10.65)
Es liegt ein 2gliedriger Tiefpaß vor.

Baustein 4′ 2 (Bild 10.66)

Der Baustein bildet einen frequenzabhängigen Spannungsteiler. Über den Kondensator C10 gelangen höhere Harmonische ungeschwächt zum Ausgang.

Baustein 16′ + 8′ (Bild 10.67)

Hier handelt es sich um ein RC-Filter mit 2 Eingängen (16′ und 8′). Die Dimensionierung der Widerstände R1 und R2 gleicht die frequenzbedingte unterschiedliche Dämpfung in

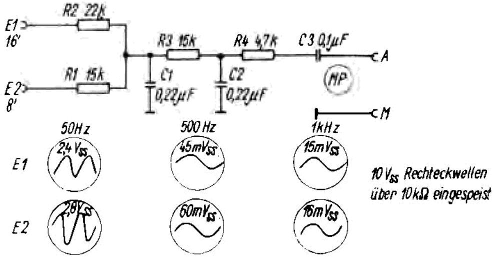


Bild 10.67 Baustein 16′ + 8′ (Filter)

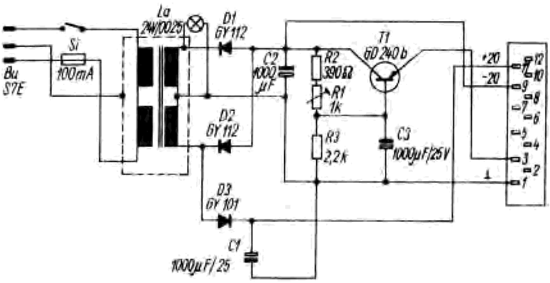


Bild 10.68 Baustein NT 1 (Netzteil)

dem nachgeschalteten 2gliedrigen Tiefpaß aus. R4 und C3 dienen zur Aus- und Entkopplung sowie zur weiteren Frequenzgangbeeinflussung.“

Baustein NT 1 (Netzteil 1) Bild 10.68

Die Netzwicklung ist symmetrisch auf den Schenkeln eines Kernes *SU 48/16* aufgebracht. Die an C2 liegende Gleichspannung wird dem elektronischen Siebglied T1 zugeführt. R2 und R1 (in Serie) bilden zusammen mit dem an der Basis von T1 liegenden Kondensator ein Siebglied entsprechend großer Zeitkonstante, das wirkungstechnisch am Emitter von T1 und damit im Lastzweig mit dem um den Stromverstärkungsfaktor von T1 vergrößerten Siebfaktor erscheint. Da die durch T1 gesiebte Spannung lastabhängig ist, gestattet der Regelwiderstand R1 die exakte Einstellung des Spannungssollwertes im Lastbereich bis 650 mA.

10.3. Übersichtsstromlaufpläne verschiedener Polyphone

10.3.1. *Matador EMP 3* (Bild 10.69)

Allgemeines zum Instrument wurde in Abschnitt 9.3. ausgeführt. In Bild 10.69 sind links oben der Frequenzvibratogenerator und die Stromversorgungsschaltung dargestellt. Die

beiden Verstärkerstufen (2 × *GC 115*) im rechten Teil des Stromlaufplans sind zurückgekoppelt (Generator). Die Frequenz des Generators gelangt zum links gezeichneten Transistor *GC 115*. Mit der Ausgangswechselspannung (Vibratofrequenz) dieser Transistorstufe wird die Gleichspannung für die Gesamtstimmung moduliert (sie schwankt im Takt der Vibratofrequenz) und gelangt über die Leitung GM zum Ge-

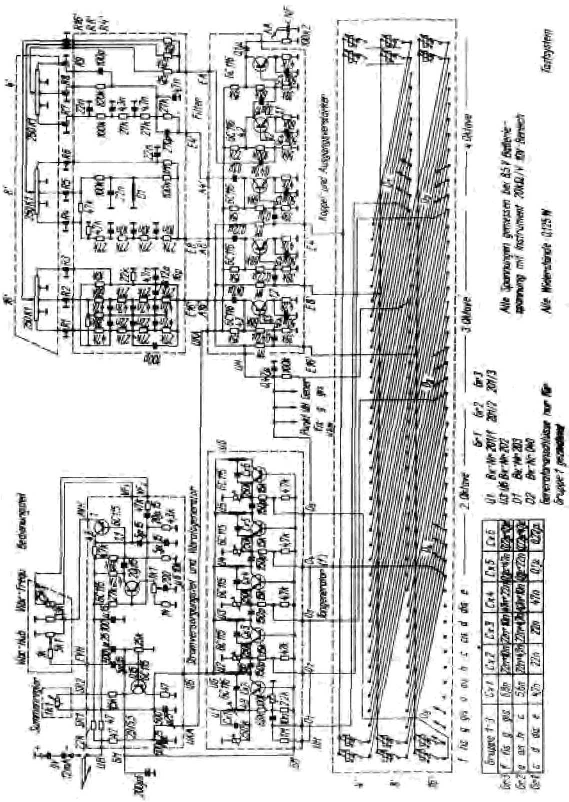


Bild 10.69 Übersichtsstromlaufplan *Matador EMP 3*

neratorsatz, dessen Transistoren in Basisschaltung arbeiten. Die schwankende Gleichspannung ruft Frequenzschwankungen der Generatoren hervor (Frequenzvibrato).
Das Tastsystem ist mit Kohleschichtschleifbahnen an Stelle von metallischen Kontakten aufgebaut. Die Schleifbahnen nutzen sich langsam ab und müssen dann ausgewechselt werden. Verbrauchte Schleifbahnen verursachen unsaubere Toneinsätze, Kratzgeräusche und unkonstante Tonwidergabe beim Halten der Tasten in der gedrückten Lage. Die Sammelschienen des Tastsystems 16′, 8′ und 4′ sind an die Koppelverstärkerstufen angeschlossen. Zwischen diesen und dem Ausgangsverstärker ist für jede Fußlage ein anderes vielseitiges und regelbares Kombinationsfilter geschaltet. Der Ausgangsverstärker ist 2stufig ausgeführt. An den Ausgang des Instruments wird ein Fußschweller und daran eine Verstärkeranlage angeschlossen.

10.3.2. *Matador EMP 3/25* (Bild 10.70)

Das Instrument stellt eine Ausführungsvariante der *EMP 3* (Bild 10.69) dar. Die Veränderungen im Vibratogenerator — Frequenz nicht mehr stetig, sondern nur noch in 2 Stufen einstellbar, und der Hub ist fest eingestellt — sind nicht vorteilhaft.
Die Erweiterung des Tonumfangs und der Tastatur um eine Oktave (Teilerstufen nach Bild 10.70 links unten) und die Aufteilung des Manuals in einen Baß- und Diskantteil sind wertvoll. Zwar handelt es sich bei der Aufteilung des Manuals nicht um eine konsequente Manualtrennung — nur die Lautstärke jeder Fußlage wird für die beiden Manualteile durch *Balanceregler* beeinflußt —, doch hat die Wirkungsweise dieser Schaltung gegenüber einer direkten Manualtrennung den Vorteil, daß es nicht zu groben Fehleinstellungen kommen kann, denn der Regelbereich der Balanceregler ist begrenzt.
Neu hinzu kam weiterhin die „Effektplatte" rechts in Bild 10.70 (*brillant* — helle Klangkombination, *strings* — Streicherstimmen und *Tutti* — volles Klangvolumen). Die Register 16′,

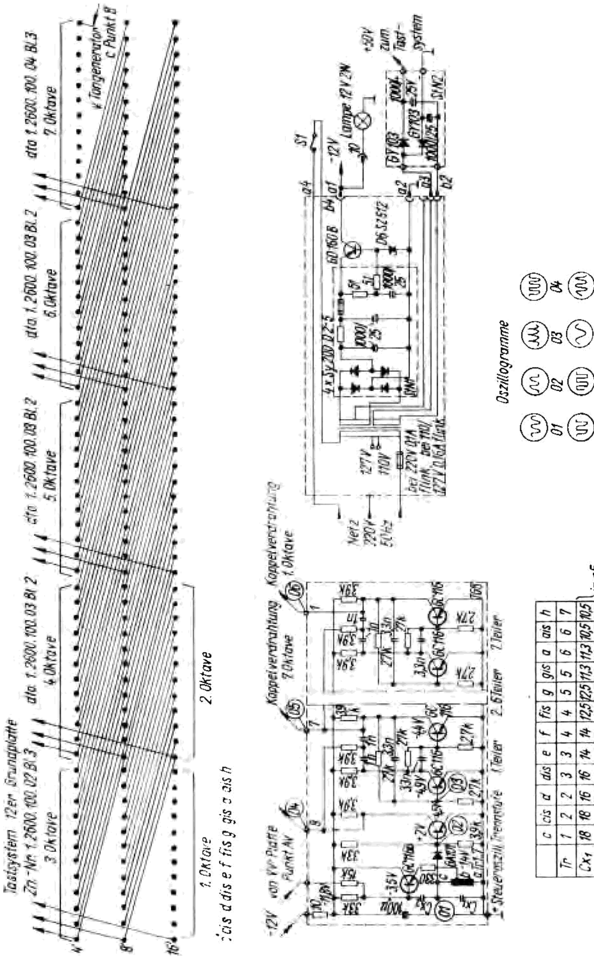
8′ und 4′ (je 3 Klangfarben) sind als Wippenregler zur Lautstärkebeeinflussung der einzelnen Register ausgebildet. Durch diese Maßnahme konnten die Klangeinstellmöglichkeiten erheblich erweitert werden. (Bild 10.70 liegt als Einlage bei.)

10.3.3. *Matador 26* (Bild 10.71)

Das vollelektronische Tasteninstrument *Matador 26* ist mit einem stabilisierten Netzteil ausgerüstet. Die Schaltung des Vibratogenerators entspricht der in Bild 9.23 beschriebenen, der Aufbau der Generatorkaskaden gleicht der Schaltung nach Bild 9.16.
Im Tastsystem wurden *metallische* Kontakte verwendet. Die Filterschaltungen SF/26 sind entsprechend der Aufteilung der Sammelschienen des Tastsystems mit mehreren Einspeisungspunkten für die Tonfrequenzspannungen versehen. In die übrigen Filter werden die Tonfrequenzspannungen der über Entkopplungswiderstände zusammengefaßten Sammelschienenabschnitte eingegeben. Diese Zusammenhänge gehen aus Bild 10.71 nicht direkt hervor. An die Filter schließen sich die Registerschalter an. Die Registersammelschiene ist über die Mixturregister mit dem Eingang des Ausgangsverstärkers verbunden. Die Manualtrennung geschieht durch ein Relais, das auf der Platine SF/26 eingezeichnet ist. Das Relais wird betätigt, wenn eines der Register der Manualtrennung 8′ und 16′ oder beide zusammen eingeschaltet werden. Im Vergleich zu den kurz beschriebenen anderen *Matador*-Modellen dokumentiert die Ausführung des Instruments *Matador 26* einen bemerkenswerten technischen Fortschritt.

10.3.4. Elektronische *Heathkit*-Orgel Modell *GD 325 B* (Bild 10.72)

Beschreibung:
(Auszüge aus der Übersetzung des englischen Textes)
„Die neue *Thomas-Heathkit*-Orgel Modell *325 B* ist ein hochwertiges Instrument für den Hausgebrauch. Es kann auch in Ka-



	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis	a	ais	h
Tr	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7
Cx_1	18	18	16	16	14	14	12,5	12,5	11,3	11,3	10,5	10,5
Cx_2	47	47	43	43	39	39	33	33	27	27	22	22

in nF

Bild 10.71 Übersichtsstromlaufplan *Matador 26*

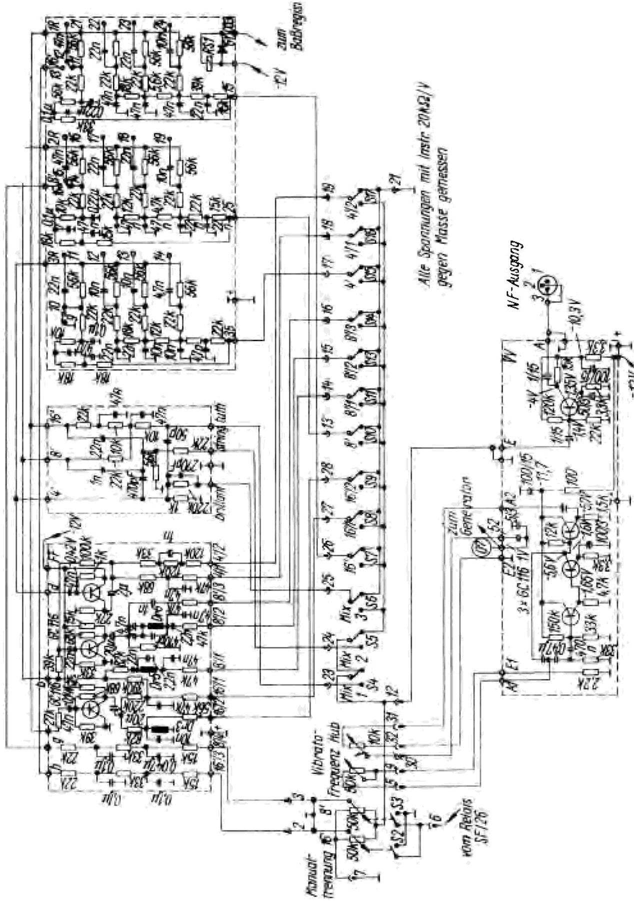


Bild 10,71 (Fortsetzung)

pellen oder Schulen verwendet werden. Es sind 2 Manuale (gegeneinander um eine Oktave versetzt) und ein 13töniges Baßpedal eingebaut. Die Lautstärkeregelung des Pedals geschieht mit einem Drehknopf. Die Lautstärke der Manuale wird mit einem Balanceregler aufeinander abgestimmt. Eines der beiden Manuale kann jeweils auch lauter oder leiser eingestellt werden. Mit einem Fußschweller wird die Lautstärke der gesamten Orgel beeinflußt.
Jedem Manual ist eine Gruppe Register zugeordnet. Diese Stimmen können einzeln oder zusammen gespielt werden. Zeitweise kann man Effekte hinzuschalten. Das II. Manual hat 6, das I. Manual 4 naturgetreue Register. Das Vibrato wirkt auf alle Register, Stärke und Schnelligkeit sind einstellbar. Bei eingeschalteter Repeat-Perkussion (Tremolo) wiederholt sich der angeschlagene Ton von selbst immer wieder in einstellbaren Zeitintervallen, solange eine Klaviaturtaste betätigt wird. Dieser Tremoloeffekt verschönert die Stimmen, sie klingen wie Banjo oder Mandoline.“
Bei genauerer Betrachtung des Stromlaufplans und der technischen Daten des Instruments ist zu erkennen, daß der Ton- und Tastenumfang gering ist: Manuale je 37 Tasten von c^2 bis c^5 (523,2 bis 4186 Hz), Pedal 13 Tasten von c^2 bis c^3. Durch eine Teilerstufe ergibt sich im Pedal ein Tonumfang von C_1 bis C_2 (261,6 bis 523,2 Hz) monophon. Im Pedal ist monophon kein wesentlicher Nachteil, da in der Regel ohnehin stets nur eine Taste betätigt wird. Die Manuale weisen nur 8′-Register, das Pedal weist nur ein 16′-Register auf. Der Gesamttonumfang des Instruments von 261,6 bis 4186 Hz ist nicht groß. Der eingebaute Endverstärker (40 W Musikleistung) und ein großer Lautsprecher sorgen für eine kräftige Tonabstrahlung, die zunächst über den eingeengten Tonumfang durch Lautstärke hinwegtäuschen kann.
Bild 10.72 zeigt den Übersichtsstromlaufplan des Instruments, Bild 10.84 die Schaltung einer Generatorkaskade, die aus dem Gesamtstromlaufplan[3] des Bildes 10.72 „herausgezeichnet“ wurde. (Bild 10.72 liegt als Einlage bei.)

[3] Siehe Schlußbetrachtungen Teil 2

10.4. Baugruppen-Schaltungsvarianten

Die Zusammenstellung einiger Baugruppen-Stromlaufpläne von verschiedenen Instrumenten soll dazu beitragen, den Einblick in die Schaltungstechnik elektroakustischer Instrumente zu vertiefen. Die Mehrzahl der Schaltungen wurde vom Autor nicht erprobt. Soweit sie zu industriell hergestellten Instrumenten gehören, braucht man ihre Funktionstüchtigkeit nicht anzuzweifeln. Die Zusammenstellung enthält Baugruppen-Stromlaufpläne, die in Teil 1 und Teil 2 noch nicht enthalten sind. Auf andere Schaltungen und Beiträge aus Fachzeitschriften oder Büchern wird jeweils am Schluß der einzelnen Abschnitte hingewiesen.
In den Stromlaufplänen der Zusammenstellung sind grundsätzlich die Halbleiterbauelemente der Originalbestückung angegeben. Diese zum Teil ausländischen Typen stehen meistens nicht zur Verfügung. Die Schaltungen können trotzdem erprobt werden, da es Vergleichstypen gibt, deren Daten gegenüber denen der angegebenen Dioden und Transistoren nicht oder nur geringfügig abweichen. Es lassen sich fast ausnahmslos übliche NF-Transistoren aus dem Produktionssortiment der DDR einsetzen.
Der Amateur kann seine Freizeit sinnvoll ausfüllen, wenn er einige der Schaltungen selbst erprobt. Will man später einzelne Baugruppen nachbauen oder die Schaltungen in veränderter Form einsetzen, so sind *Vorversuche* unerläßlich. Das gilt vor allem für Leser, die sich bisher noch nicht mit elektronischen Schaltungen beschäftigt haben. Da aber der Zeitaufwand für den Selbstbau eines größeren Instruments nicht unerheblich ist, sollte man sich auf die Bauanleitungen in Teil 4 stützen, um Zeit zu sparen.

10.4.1. Hauptoszillatoren (Muttergeneratoren)

Die Stromlaufpläne von *Muttergeneratoren* erscheinen vorwiegend in Abschnitt 10.2. in Verbindung mit Frequenzteilerschaltungen.

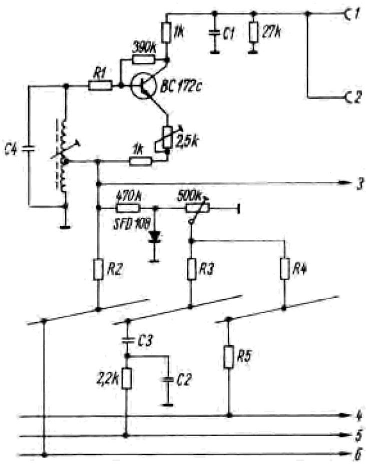


Bild 10.73
Stromlaufplan des Kurztongenerators

10.4.1.1. Hauptoszillator ohne Frequenzteiler

Bild 10.73 zeigt einen Generator für ein Instrument *ohne Frequenzteiler.* In eine elektronische Orgel für höchste Ansprüche müssen bei einem klingenden Tonumfang von 8 Oktaven 96 *derartige Generatoren* eingebaut werden. Es handelt sich um einen *Kurztongenerator,* der erst anschwingt, wenn die Klaviaturtaste betätigt wird (weiche Tonansprache, Einschwing- und Ausschwingvorgänge). Die Schaltung erzeugt

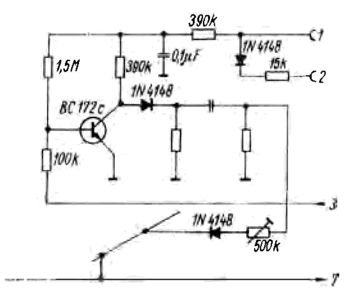


Bild 10.74
Klangformer zum Generator nach Bild 10.73

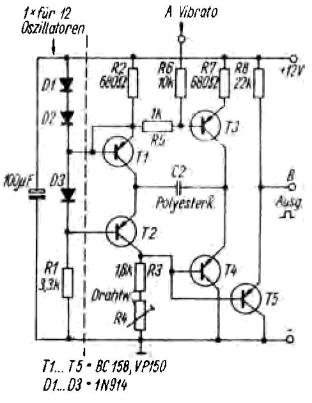
Tabelle 10.1

8 Oktaven	C1 H1 braun	C H rot	c h rosa	c^1 h^1 gelb	c^2 h^2 grün	c^3 h^3 blau	c^4 h^4 violett	c^5 h^5 weiß
R1 von			220 k	270 k	330 k	330 k	330 k	270 k
bis	270 k	270 k	390 k	390 k	390 k	390 k	390 k	390 k
R2 von	220 k	330 k	470 k	470 k	330 k	390 k	470 k	
bis	330 k	470 k	560 k	560 k	560 k	560 k	560 k	470 k
R3	470 k	470 k	470 k	470 k	470 k	470 k	470 k	470 k
R4 von		560 k	330 k	330 k	330 k	330 k	330 k	
bis	470 k	680 k	470 k	680 k	560 k	470 k	680 k	470 k
R5	Brücke	Brücke	27 k	68 k	560 k	820 k	1 M	2,2 M
C1	2 μF	2 μF	1 μF	0,47 μF	0,22 μF	0,22 μF	0,22 μF	0,22 μF
C2	entfällt	0,1 μF	0,068 μF	0,33 μF	0,01 μF	4700 pF	4700 pF	4700 pF
C3	Brücke	Brücke	Brücke	Brücke	4700 pF	3300 pF	2200 pF	2200 pF
C4	je nach Tonhöhe							

obertonarme Schwingungen. Zur Speisung obertonreicher Register wird ein zusätzlicher *Klangformer* nach Bild 10.74 eingesetzt. Tabelle 10.1. gibt über die Größe der Bauelemente der Generatoren für verschiedene Frequenzen Auskunft.

10.4.1.2. Frequenzstabiler Hauptoszillator

Bild 10.75 zeigt eine aufwendige Muttergeneratorschaltung hoher Frequenzstabilität zur Ansteuerung (Synchronisation) eines Sägezahnteilers. Die Frequenzabweichung soll nur 0,005 % je Grad Celsius im Bereich von 10 bis 40 °C betragen. Man benötigt 2 Stromquellen, die durch T1, T3, R2, R7, D1 und D2 gebildet werden. T2 und T4 gehören zur Schwingschaltung. T5 ist als *Emitterfolger* (Impedanzwandler) nachgeschaltet. D1, D2, D3, R3,3 kΩ und C (100 μF) braucht man für 12 Hauptgeneratoren nur einmal einzubauen. Im Punkt B kann die Ausgangsspannung (Rechteckspannung) zur Synchronisation der Frequenzteiler abgenommen werden. Bei Punkt A wird die *Steuerschaltung* nach Bild 10.76 angeschlossen. Auf den Eingang der Steuer*schaltung* müssen die Schwingungen eines Fre-



Hauptoszillatorfrequenz Hz	Note	R4 Ω	C2 nF
8370	c^6	100	18
7901	h^5	330	18
7456	ais^5	470	18
7040	a^5	680	18
6645	gis^5	220	22
6272	g^5	470	22
5920	fis^5	680	22
5587	f^5	100	27
5273	e^5	330	27
4977	dis^5	680	27
4699	d^5	680	27
4435	cis^5	220	33

Bild 10.75 Muttergenerator mit hoher Frequenzstabilität

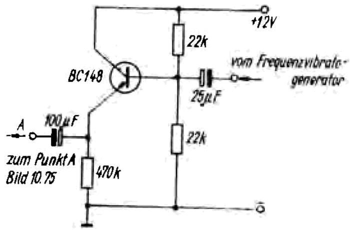


Bild 10.76 Anpassungsstufe für Frequenzvibratoeingänge

quenzvibratogenerators gegeben werden. Für die Frequenzmodulation von 12 Hauptoszillatoren wird nur eine Schaltung nach Bild 10.76 benötigt. In der Tabelle zum Bild 10.75 sind die Werte für R4 und C2 der Muttergeneratoren eingetragen.

Weitere Generatorschaltungen siehe Bild 6.14, Bild 8.3, Bild 9.16, Bild 10.1, Bild 10.48, Bild 10.70 und Bild 10.71.

Literatur zum Thema Generatoren:

Zeitschrift „Radio und Fernsehen“: 1959, H.2, S. 44; 1962, H. 21, S. 677; 1966, H. 20, S. 629; 1970, H. 5, S. 147.

Zeitschrift „Funktechnik“: 1967, H. 20, S. 795.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [8], [10], [11], [12], [13], [19], [23], [26] und [27].[4]

10.4.2. Frequenzteilerkaskaden

10.4.2.1. Röhrenbestückte Kaskade der *Ionika EMP 1* (Steuergenerator und Teiler)

Bild 10.77 zeigt einen der 12 Tongeneratorkaskaden des ersten polyphonen Tasteninstruments, das in der DDR in Serien-

[4] Es ist im allgemeinen für ein Literaturstudium ausreichend, wenn von den in den Literaturhinweisen zahlreich genannten Fachbüchern jeweils nur einige Titel ausgewählt werden. Siehe auch Anmerkung auf Seite 124

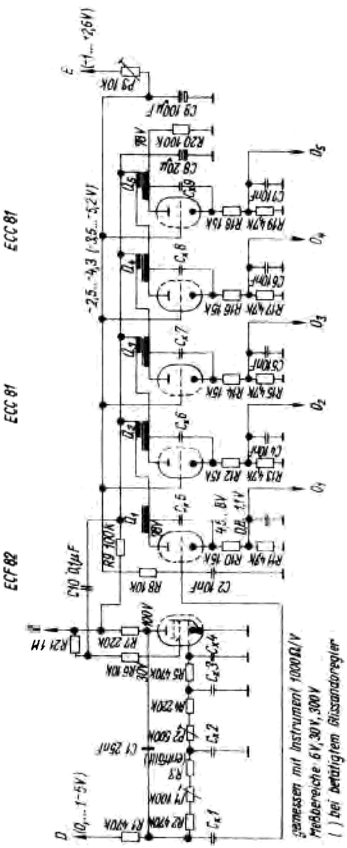


Bild 10.77
Röhrenbestückter Tongenerator der *Ionika EMP 1*

produktion gefertigt wurde. Der Generatorsatz ist in 3 Kaskadengruppen unterteilt:
Zur Gruppe III gehören alle Töne F, Fis, G, Gis.
Zur Gruppe II gehören alle Töne A, Ais, H, C.
Zur Gruppe I gehören alle Töne Cis, D, Dis, E.
Die Tabelle 10.2. enthält die Kondensatorwerte der zu den 3 Gruppen gehörenden Kaskaden. Der Steuergenerator schwingt

Tabelle 10.2.

C_x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gruppe I	240 pF	240 pF	240 pF	240 pF	5,25 nF	9 nF	20 nF	50 nF	100 nF
Gruppe II	300 pF	300 pF	300 pF	300 pF	6,5 nF	11,5 nF	25 nF	62,5 nF	125 nF
Gruppe III	380 pF	380 pF	380 pF	380 pF	8,25 nF	14,5 nF	30 nF	75 nF	150 nF

als Phasenschiebergenerator. Am Punkt B wird die Anodenspannung (+250 V) und an D werden die Vorspannung (Summen- und Glissandoregler[5]) sowie die Vibratowechselspannung zugeführt. Der Regler P2 (500 kΩ) dient zum Grobabstimmen. Pl (100 kΩ) ist an der Rückseite des Geräts von

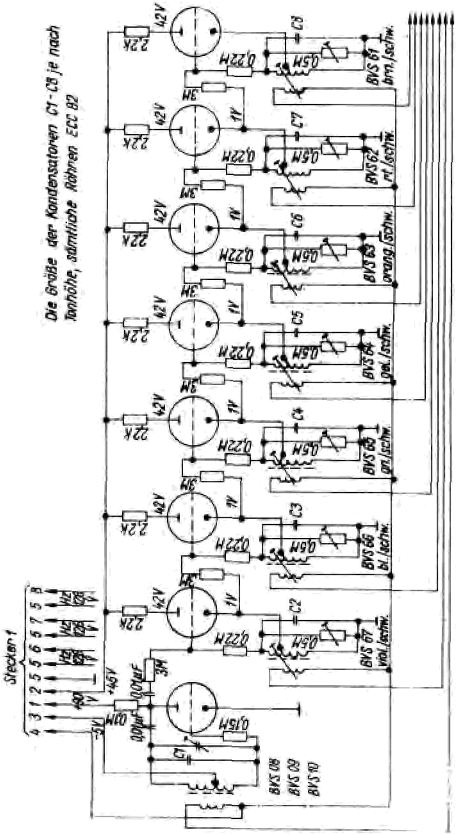


Bild 10.78 Röhrenbestückte Tongeneratorkaskade mit LC-Muttergenerator

[5] Hawaii-Gitarreneffekt

außen zu bedienen und wird zum Feinabstimmen benutzt. Über den kapazitiven Spannungsteiler C_x1 bis C_x2 wird der Frequenzteiler an den Steuergenerator angekoppelt. Der erste „Teiler" synchronisiert im Verhältnis 1:1. Die sich anschließenden Teiler werden über eine besondere Synchronwicklung der Schwingtransformatoren Ü2 bis Ü5 jeweils im Verhältnis 2: 1 synchronisiert.

10.4.2.2. Röhrenbestückter Generator mit LC-Muttergeneratoren (Bild 10.78)

Ältere Instrumente sind mit Elektronenröhren bestückt. Für den Selbstbau und für Neuentwicklungen sind die Röhrenschaltungen nicht von Interesse. Sie werden nur kurz erläutert, da sie für *Reparaturarbeiten* Bedeutung haben.
In Bild 10.78 sind der Hauptoszillator (Katodenbasisstufe) und die Teiler (Anodenbasisstufen) in *Hartley*-Schaltung ausgeführt. Die angezapfte Spule und der parallelliegende Kondensator bestimmt die Frequenz (beide bilden einen Schwingkreis). Durch den 0,5-MΩ-Trimmregler tritt eine *Schwingkreisdämpfung* ein, so daß die Höhe der Ausgangsspannung eingestellt werden kann. Über die Widerstände 3 MΩ erfolgt die Synchronisation der Teilerstufen; die Widerstände 0,22 MΩ wirken amplitudenbegrenzend.

10.4.2.3. Frequenzteilerkaskade zur Erzeugung von Sägezahnspannungen (Bild 10.79)[6]

Bisher wurden Sägezahngeneratoren in Form von Sperrschwingern verwendet. Nachteilig ist, daß für jede Teilerstufe ein kleiner Übertrager benötigt wird. Multivibratoren als Teiler liefern in der üblichen Ausführung eine Rechteckspannung, in der die geradzahligen Harmonischen fehlen. Dadurch werden die Möglichkeiten der Klangformung beeinträchtigt, oder es

---

[6] nach Angaben von *Intermetall*

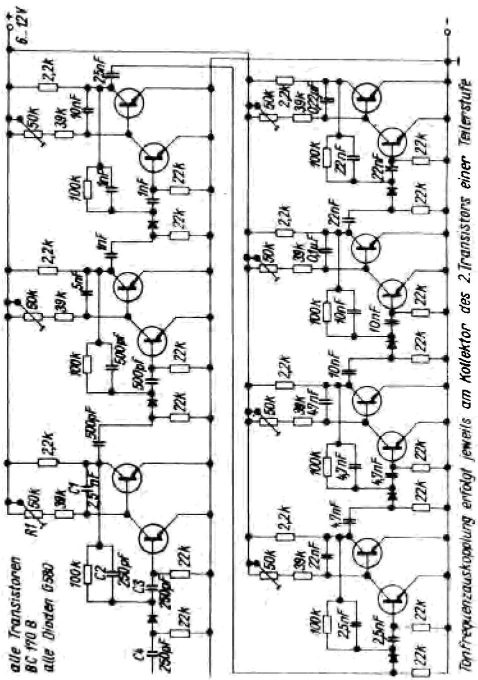


Bild 10.79 Teilerkaskade mit Flip-Flop-Stufen (Ausgangsspannung sägezahnförmig)

müssen zusätzliche *Klangformer* eingebaut werden. Sperrschwinger erzeugen außerdem bei Synchronisationsausfall falsche Töne; Flip-Flop-Teiler (bistabile Multivibratoren) dagegen verstummen bei Ausfall der Synchronisationsimpulse, es fallen nur die Töne in jeder Oktave aus, die keine Synchronisationsimpulse mehr erhalten.

Die in Bild 10.79 gezeigte Teilerkaskade erzeugt Sägezahnschwingungen, es werden keine Übertrager wie bei Sperrschwingern benötigt, und wenn die Synchronisation ausfällt, verstummen die Stufen. Die verwendete Schaltung wird als *Miller-Integrator* bezeichnet.

Tabelle 10.3.

Muttergeneratoren etwa 4 ... 8 kHz	C1	C2 = C3 = C4	R1
1. Teiler 2 ... 4 kHz	2,5 nF	250 pF	einstellbar
2. Teiler 1 ... 2 kHz	5 nF	500 pF	einstellbar
3. Teiler 0,5 ... 1 kHz	10 nF	1 nF	einstellbar
4. Teiler 250 ... 500 Hz	22 nF	2,2 nF	einstellbar
5. Teiler 125 ... 250 Hz	47 nF	4,7 nF	einstellbar
6. Teiler 62,5 ... 125 Hz	0,1 μF	10 nF	einstellbar
7. Teiler 31 ... 62 Hz	0,22 μF	22 nF	einstellbar

In Tabelle 10.3. sind die Werte für die Kondensatoren C1 bis C4 angegeben. Die Schaltung ist mit npn-Transistoren bestückt, die Kollektoren liegen am positiven, die Emitter am negativen Potential. An die Qualität der Transistoren werden keine besonderen Anforderungen gestellt.

10.4.2.4. Transistorisierte Generatorschaltung mit LC-Muttergeneratoren und Flip-Flop-Teilern (Bild 10.80)

Die in Bild 10.80 gezeigte Generatorschaltung gehört zu dem Instrument, das in Bild 9.40 vorgestellt wurde. Der Steueroszillator (im Stromlaufplan als *Leitkreis* bezeichnet) ist eine *Meißner*-Schaltung. Die Auskopplung der Frequenz des Hauptgenerators erfolgt am Kollektor der nachgeschalteten Stufe (Anschluß L). Über den 680-pF-Kondensator wird der erste Frequenzteiler (Flip-Flop-Stufe) synchronisiert. Alle Teiler des Instruments sind untereinander gleich ausgeführt.

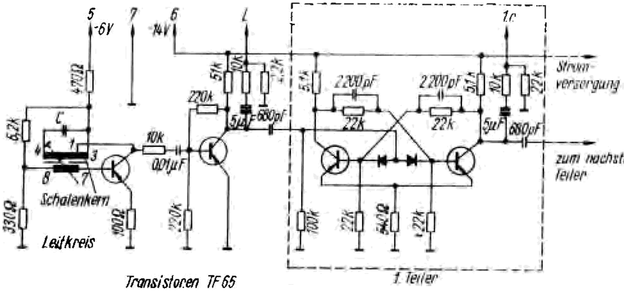


Bild 10.80 Transistorisierte Generatorschaltung

10.4.2.5. Generatorkaskade des sowjetischen Polyphons *Perle 2* (Bild 10.81)

Als Muttergenerator wird ein *Meißner*-Generator benutzt. Über L3 ist an den Steuergenerator eine Transistorstufe angekoppelt, am Kollektor des Transistors wird die Frequenz des Muttergenerators abgegriffen. Die Teilerstufen sind als synchronisierte Multivibratoren ausgebildet. An jeden Teiler ist eine Klangformungsstufe angeschlossen, die die Rechteckwellen in eine für die selektive Klangbildung geeignetere Kurvenform umwandelt.

10.4.2.6. Generatorkaskade (Bild 10.82)

(Die Angaben entsprechen den Ausführungen in [10].)

Die Schaltung ist auf den ersten Blick sehr aufwendig, hat aber einige Vorzüge: Hohe Temperatur-Frequenzstabilität (*Drift*) und hohe Spannungs-Frequenzstabilität (*Shift*) garantieren exakte Funktion auch mit minderwertigen Transistoren. Jede Kaskade ist mit gleichen Bauteilen aufgebaut. Die Toleranz der Ausgangsspannungen aller Töne wird mit weniger als 4 dB (*Dämpfungsmaß*) angegeben.

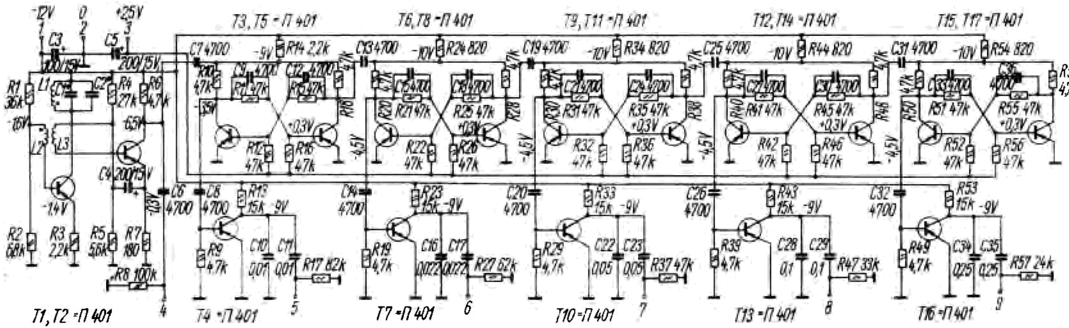
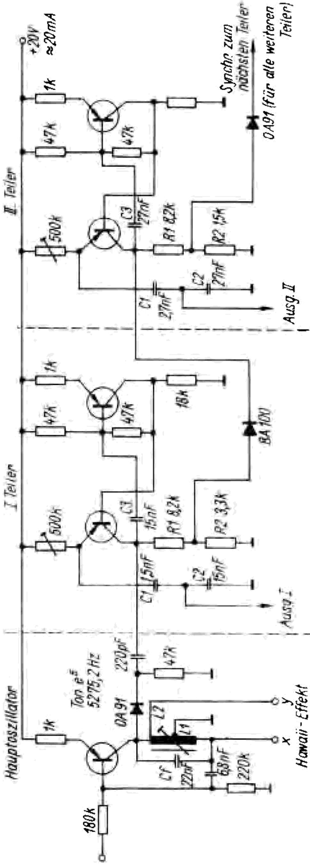


Bild 10.81 Generatorschaltung des sowjetischen Polyphons *Perle 2*



Werte der Kondensatoren für Hauptoszillatoren

Ton	f Hz	Cf nF	Ck nF	CHawaii nF
c^5	4186	30	10	2,7
cis^5	4432	27	10	2,7
d^5	4669,2	27	8,2	2,7
dis^5	4976	27	8,2	2,7
e^5	5275,2	22	6,8	2,2
f^5	5587,2	22	6,8	2,2
fis^5	5918,4	22	6,8	2,2
g^5	6272	18	4,7	1,8
gis^5	6641,6	18	3,9	1,8
a^5	7040	15	3,3	1,5
ais^5	7459,2	12	2,7	1,2
h^5	7902,4	12	2,7	1,2

Werte der Bauelemente für die Teilerstufen

	Teilerstufe						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
C1	1,5nF	2,7nF	5,6nF	12nF	22nF	47nF	0,1µF
C2	15nF	27nF	56nF	0,12µF	0,22nF	0,47µF	1µF
C3	15nF	27nF	56nF	0,12µF	0,12µF	0,12µF	0,12µF
R1	8,2k	8,2k	10k	10k	10k	10k	10k
R2	3,3k	1,5k	1k	0,68k	0,68k	0,56k	

Bild 10.82 Generatorkaskade mit einem Steueroszillator ohne Tonauskopplung

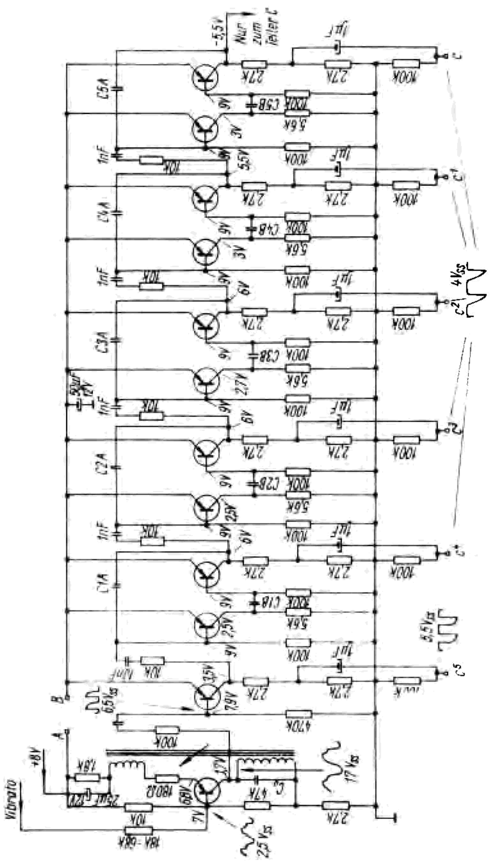


Bild 10.83 Tongenerator eines italienischen Instruments

10.4.2.7. Tongeneratorkaskade eines italienischen Instruments (Bild 10.83)

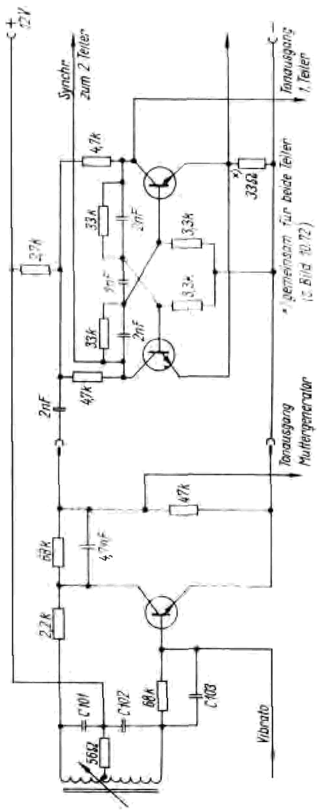
Die Rückkopplungsspannung führt man beim Steueroszillator vom Kollektorkreis in den Emitterkreis des Transistors zurück. Die Tonfrequenz des Steueroszillators wird über eine nachge-

Tabelle 10.4.

Note (Kaskade)	CO	C1A	C1B	C2A	C2B	C3A	C3B	C4A	C4B	C5A	C5B	C6A	C6B
C	7,5	5,6	6,8	10	12	22	27	39	47	82	100	150	170
Cis	16	8,2	12	18	27	33	39	68	82	120	150		
D	14,7	8,2	10	15	22	33	39	68	82	120	150		
Dis	13	8,2	10	15	22	33	39	68	82	120	150		
E	11,2	6,8	10	15	22	27	39	56	82	120	150		
F	10	6,8	10	15	18	27	39	56	68	120	150		
Fis	9	6,8	10	12	18	27	33	56	68	100	120		
G	7,8	5,6	10	12	15	22	33	56	68	100	120		
Gis	7,1	5,6	8,2	12	15	22	33	47	68	82	100		
A	5,9	5,6	8,2	10	15	22	33	47	68	82	100		
Ais	10	5,6	6,8	10	12	22	33	47	56	82	100		
H	8,3	4,7	6,8	8,2	12	18	27	39	47	82	100		

(Kapazitätswerte in nF)

schaltete Stufe ausgekoppelt. Die Kurvenformen der Tonfrequenzausgangsspannungen der Kaskade sind in Bild 10.83 unten angegeben. Tabelle 10.4. enthält die Werte der frequenzbestimmenden Bauelemente.



Noten	C 101, 102 (10%)	C 103 (20%)
cis d dis	160 nF	82 nF
e f fis	120 nF	56 nF
g gis a	91 nF	43 nF
ais h c	68 nF	33 nF

Bild 10.84 Muttergenerator und Teiler des Instruments *GD 325 B* (s. Bild 10.72)

10.4.2.8. Muttergenerator und Teiler des Instruments *GD 325 B* (Bild 10.72)

Der Muttergenerator nach Bild 10.84 mit nur einem Transistor ist sehr wirtschaftlich aufgebaut. Die Schwingungen der Hauptgeneratoren werden ausgekoppelt und speisen die oberste Oktave des Instruments. Die Frequenz des Vibratogenerators wird auf die Basis des Transistors des Muttergenerators eingekoppelt, der eine induktive Dreipunktschaltung darstellt. Alle Teiler haben gleiche Bauelemente. Weitere Schaltungen siehe Bild 10.1, Bild 10.48, Bild 10.70 und Bild 10.71.

Literaturhinweise zum Thema Generatoren:

Zeitschrift „Radio und Fernsehen": 1959, H. 2, S. 44; 1962, H. 8, S. 259; 1962, H. 21, S. 677; 1964, H. 23, S. 728; 1965, H. 13, S. 414; 1966, H. 20, S. 629.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [8], [10], [11], [12], [13], [19], [23], [26], [27].

10.4.3. Komplette Generatorsätze

Zu einem vollständigen Generatorsatz gehören bei Synchronkaskaden 12 Muttergeneratoren mit Frequenzteilern entsprechend dem Tonumfang des jeweiligen Instruments. Häufig wird der Frequenzvibratogenerator mit im Generatorsatz untergebracht. Eine Möglichkeit der Montage aller Platinen zu einem kompletten Generatorsatz zeigt Bild 10.85 (*Kastenbauweise*). In dieser Form kann der Generatorsatz abgeschirmt werden, indem man die Außenflächen des Generatorkastens mit *kaschierter Aluminiumfolie* belegt. Die Platinen im Generatorkasten sind in der Weise angeordnet, daß alle Einzelanschlüsse der Platinen durch geradlinig verlegte Leitungen miteinander verbunden werden können (z. B. alle Anschlußpunkte zur Einspeisung der Vibratofrequenz, alle Anschlußpunkte für die Spannungszuführungen usw.). Die Tongeneratorausgänge führt man außerhalb des Generatorkastens entweder auf Lötösenleisten oder auf Messerleisten

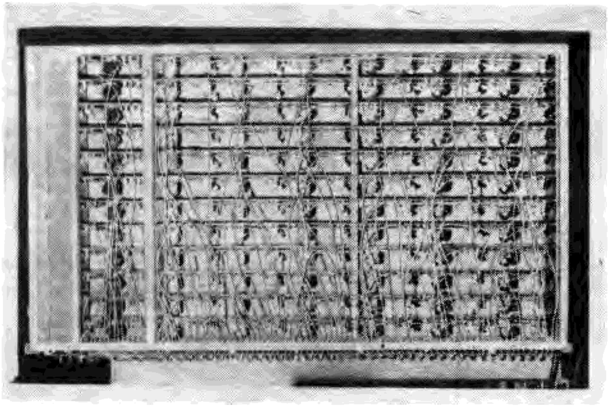


Bild 10.85 Generatorsatz in Kastenbauweise

oder andere geeignete Steckverbindungen. Es ist vorteilhaft, die einzelnen Baugruppen untereinander mit Steckverbindungen zu versehen. Der Ausbau von Baugruppen bei Reparaturarbeiten wird dadurch wesentlich vereinfacht. Die Steckverbindungen müssen eine sichere Kontaktgabe gewährleisten. An den Kontakten dürfen im Verlauf einiger Jahre noch keine Übergangswiderstände auftreten, die zu Funktionsstörungen führen.

10.4.3.1. Nachstimmen des Generatorsatzes eines Instruments

Für das Stimmen von Instrumenten wurden spezielle Meßgeräte entwickelt. Sie stehen vorwiegend der Musikinstrumentenindustrie zur Verfügung. Besitzer elektronischer Musikinstrumente stimmen ihre Instrumente nach Gehör. Das ist nichts Außergewöhnliches, denn viele mechanische Instrumente, vor allem Streichinstrumente, müssen vor jedem Gebrauch nach Gehör gestimmt werden. Das Stimmen von Klavieren, Cembali, Pfeifenorgeln u. a. wird von Fachleuten ausgeführt. Große elektronische Instrumente, die nach dem Verfahren der Fre-

quenzteilung arbeiten, können hingegen von Laien mit einem guten musikalischen Gehör gestimmt werden. Praktisch muß nur eine Oktave eingestellt werden, da alle anderen Töne durch Synchronisation mitziehen. Man trimmt die Muttergeneratoren, hört aber die Töne in der 8′-Lage in der eingestrichenen Oktave ab. Voraussetzung dafür ist das einwandfreie Arbeiten aller Teilerstufen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, ein Instrument nachzustimmen. Man kann die Tonhöhen mit denen eines noch nicht verstimmten Instruments (z. B. Klavier) vergleichen. Es wird *Schwebungsnull* eingestellt. Andere Verfahren gehen vom Ton $a^1 \triangleq 440$ Hz aus, den man zunächst nach einer *Stimmgabel* festlegt. Alle anderen Töne der Oktave werden im *Quintenzirkel* oder nach *Quarten* gestimmt (s. Bild 10.86).

Der Ton a^1 wird eingestellt und nicht mehr verändert. Zuerst wird die Quinte $a^1 - e^1$ rein (Schwebungsnull) und danach etwas tiefer als rein getrimmt (die Schwebungen muß man langsam mitzählen können; siehe die in Bild 10.86 angegebenen Schwingungszahlen für die einzustellenden Schwebungen). In dieser Weise wird der Quintenzirkel durchgestimmt. Die letzte Quinte von d^1 zu a^1 muß, *ohne nachzustellen*, stimmen. Beim ersten Versuch wird das nicht gelingen. In diesem Fall ist der Vorgang zu wiederholen, die Schwebungen müssen korrigiert werden. Das Stimmen erfordert etwas Übung.

Soll nach Bild 10.86 in Quarten gestimmt werden, so stellt



Bild 10.86 Quinten- und Quartenzirkel

man zuerst wieder Schwebungsnull ein, trimmt danach aber nicht tiefer, sondern *höher* als reingestimmt.
Das Stimmen von Instrumenten ohne Frequenzteiler ist schwieriger und sollte zum Anfang gemeinsam mit Fachleuten ausgeführt werden.
Die meisten Instrumente sind mit Gesamtstimmungsreglern ausgerüstet, die vor jedem Stimmen auf Mittelstellung zu bringen sind. Vibratoeffekte müssen völlig abgeschaltet sein. Das erstmalige Einstimmen der Generatoren beim Selbstbau eines Instruments wird in Teil 4 erläutert.

10.4.4. Kontaktsätze und Klaviaturmechanik

Die Arten von Tonfrequenzkontakten wurden in Teil 1, Abschnitt 6.4., beschrieben. Für größere Instrumente werden viele Kontakte auf engstem Raum benötigt, sie bilden dann Kontaktsätze. Man findet sie nicht nur in den Tastsystemen, sondern auch in den Klangformungsteilen (Registerschalter). Die Kontakte müssen mechanisch und elektrisch möglichst geräuschfrei schalten. Einfache Kippschalter sind z. B. zum Schalten der Register ungeeignet. Neue Ausführungen von Schiebeschaltern können bedingt verwendet werden. Benötigt man eine größere Anzahl von Registerschaltern, dann lohnt sich der Selbstbau, um Geld zu sparen. In Bild 10.87a ist der prinzipielle Aufbau der Registerschalter des Instruments K2/3 (s. Bild 3.2) dargestellt. Diese Schalter haben sich gut bewährt. Es wurden Polystyrolplättchen (Abfälle) verarbeitet und mit Tripolystyrolkleber zusammengefügt. (Später wurden in diese Teile zur Verstärkung Metallstifte eingebohrt, da sich die Klebeflächen manchmal voneinander lösten.) Pertinaxleisten tragen die Kontaktdrähte bzw. die Federdrähte, die durch Vorspannen auf die Schiebeplättchen drücken, um die Schalter in der oberen Stellung zu halten. Die Kontaktdrähte sind ebenfalls vorgespannt und geben zu den Drahtbügeln auf der unteren Pertinaxleiste in der ausgeschalteten Stellung der Registerschalter Kontakt (s. Bild 2.10). Die Schalter wurden auf einer Grundplatte aus 3 mm starkem Schichtpreßstoff auf-

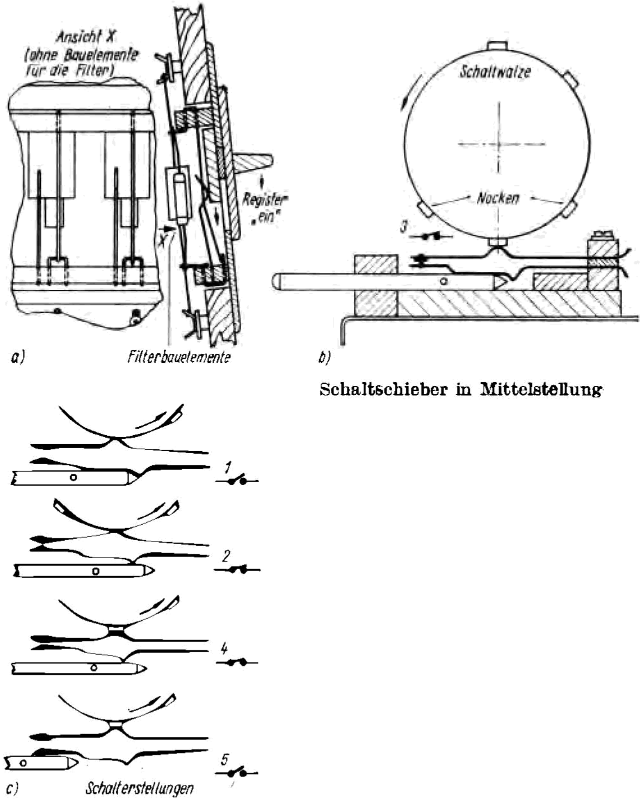


Bild 10.87 **Registerschalter** der Instrumente K2/3 nach Bild 3.2 und K4 nach Bild 3.4

gebaut. Wird ein Register eingeschaltet, so bewegt sich das Polystyrolschiebeplättchen zusammen mit dem Bedienungsknebel nach unten und hebt den Kontaktfederdraht vom Kontaktdrahtbügel ab (Schalter öffnet). Die Filterbauelemente wurden entweder direkt an die Schalter gelötet oder auf die Lötleisten der Holzfrontplatte geschaltet.

Bild 10.87 b und c zeigt das Aufbauprinzip des Registerschaltersatzes des Instruments K4. Die Schaltschieber können 3 Stellungen einnehmen. Ihre Mittelstellung ist die Ausgangs- (Normal-) Stellung. Die Kontaktbetätigung durch die Schieber ist immer im Zusammenwirken mit den Nocken auf der Schaltwalze zu betrachten. Mit Ausnahme einer Nockenreihe schaltet jede Nockenreihe eine fest eingestellte Klangkombination. Stehen die Schaltschieber in der Mittelstellung, so ist jeder Registerschalter geschlossen, auf den eine Nocke der Schalt-

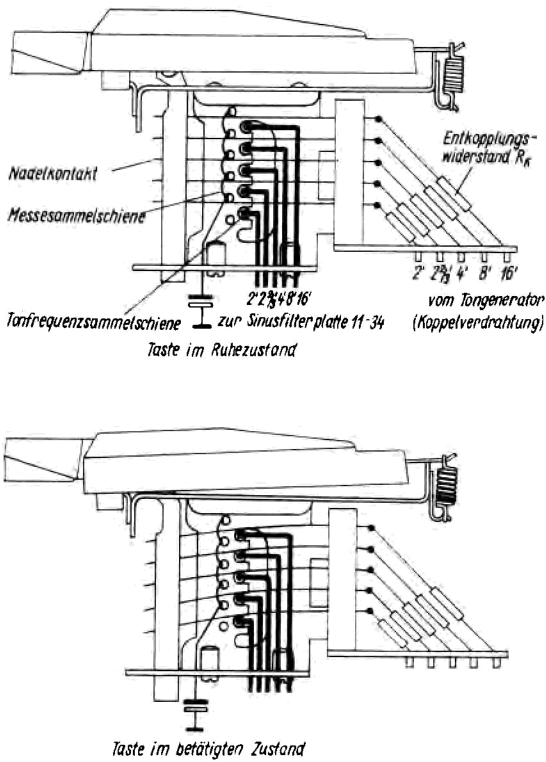


Bild 10.88 Mechanischer Aufbau der Tastenkontaktsätze

walze drückt. Bei fehlender Nocke ist der jeweilige Registerschalter geöffnet (Register eingeschaltet). Eine Nockenreihe auf der Walze ist vollständig mit Nocken besetzt. In dieser Stellung der Schaltwalze sind alle Register ausgeschaltet, wenn die Schaltschieber die Mittelstellung einnehmen (s. Bild 10.87b, Schalterstellung 3). Alle Register können durch Herausziehen der Schaltschieber eingeschaltet und auch wieder ausgeschaltet werden.

Ist eine Klangkombination durch die Schaltwalze eingeschaltet, so sind alle Register, für die keine Nocken vorhanden sind, an der Klangkombination beteiligt (s. Bild 10.87c, Schalterstellung 1). Durch Eindrücken der Schaltschieber lassen sich diese Register wahlweise von Hand auch während eines Vortrags wieder ausschalten (Schalterstellung 2).

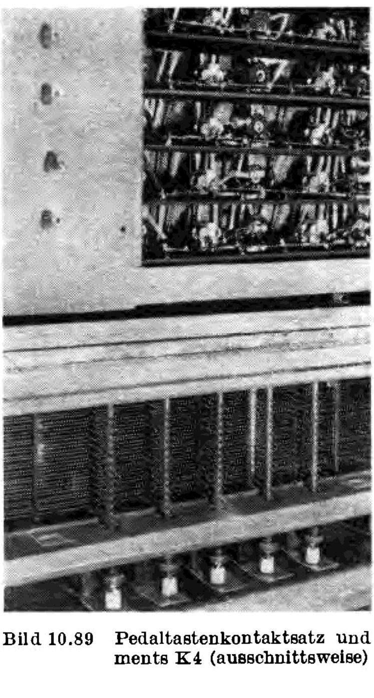


Bild 10.89 Pedaltastenkontaktsatz und Generatorsatz des Instruments K4 (ausschnittsweise)

Die Schalterstellung 4 zeigt, daß ein von der Schaltwalze ausgeschaltetes Register ausgeschaltet bleibt, wenn der Schaltschieber einwärts geschoben wird.
In der Schalterstellung 5 ist ein von der Schaltwalze ausgeschaltetes Register durch Herausziehen des Schaltschiebers wieder eingeschaltet worden. Somit ist es innerhalb einer festen Kombination möglich, ein von der Schaltwalze eingeschaltetes Register durch Eindrücken des Schaltschiebers wieder auszuschalten. Umgekehrt lassen sich von der Schaltwalze ausgeschaltete Register durch Herausziehen des Schalt-

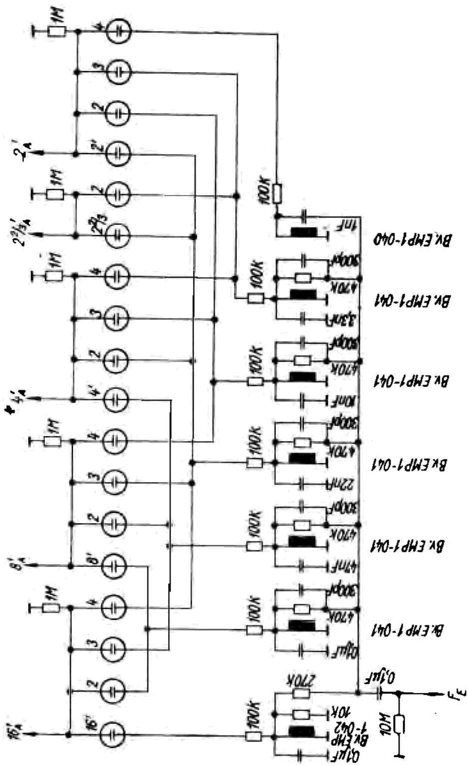


Bild 10.90 Register der *Ionika EMP 1* (s. Bild 12.1)

schiebers wieder einschalten. Diese Einrichtung ist zweckmäßig, da sie die Klangveränderung auch bei eingeschalteten Klangkombinationen ermöglicht.

In Bild 10.88 ist die Konstruktion der Tastenkontaktsätze der *TO 200/5* bzw. der *TO 200/53* zu sehen. Die Anordnung der Entkopplungswiderstände ist ebenfalls ersichtlich.

Bild 10.89 zeigt ausschnittsweise den Pedaltastenkontaktsatz und den Generatorsatz des Instruments K4.

Nach Bild 10.90 werden die Register der *EMP 1* eingeschaltet, indem man die *Glimmlampen* zündet (Ionisation durch HF).

In der Schaltung nach Bild 10.91 dienen spezielle Regler zur „Registrierung".

Gemäß Bild 10.92 lassen sich Register auch fotoelektrisch mit Glühlampen und Fotowiderständen einschalten. Weiterhin können die Registerschalter nach dem in Bild 9.30 dargestellten Prinzip der Sperrung von Dioden oder Transistoren ausgeführt werden.

10.4.5. Klangformung

Zur Klangformung eines Instruments zählen vor allem die Register. Aber auch die verschiedenen *Effekte* tragen zur Ausprägung des Klangbildes bei (s. Abschnitt 2. und Abschnitt 6.). Einige Register- und Effektschaltungen wurden bereits erläutert. Es folgen weitere ausgewählte Schaltungsbeispiele.

Anmerkung: Ein spezielles Gebiet ist die Klangbeeinflussung bei elektrischen Gitarren. Dazu kann folgende Literatur ausgewertet werden:

Zeitschrift „FUNKAMATEUR": 1970, H. 10, S. 487: *R. Prüß*, „Einfacher Verzerrer für Elektrogitarren"; 1969, H. 2, S. 63: *H. Reimann*, „Gitarrenelektronik und Trickvorverstärker"; 1971, H. 5, S. 546: *P. Salomon*, „Eine universelle Gitarrenelektronik"; 1971, H. 5, S. XVII: *K.-H. Schubert*, „Elektronische Effekte in der Tanzmusik".

Zeitschrift „Radio und Fernsehen": 1963, H. 1, S. 26; 1956, H. 6, S. 180; 1965, H. 9, S. 282.

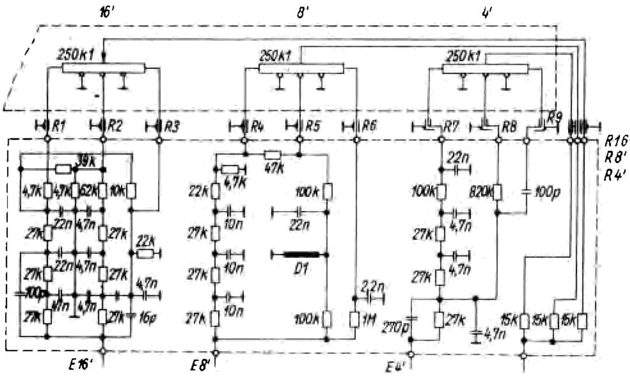


Bild 10.91 Registerschaltungen der *Matador EMP 3*

10.4.5.1. Registerschaltungen

Bild 10.91 zeigt die Ausführung eines typischen *Kombinationsfilters* (*Matador EMP 3*).

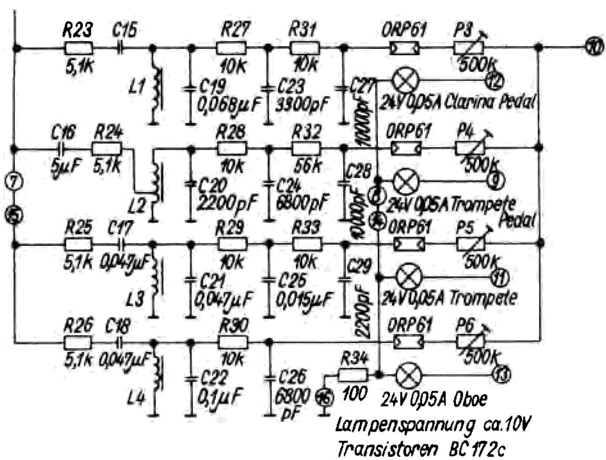


Bild 10.92 Zungenregister mit fotoelektrischen „Einschaltern“

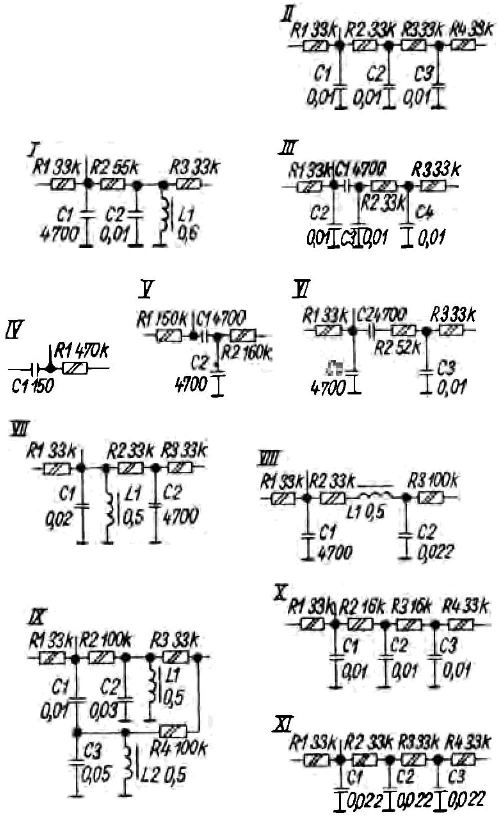


Bild 10.93 Registerfilter des sowjetischen Polyphons *Perle 2*

In Bild 10.92 sind die Filter einiger *Zungenregister* zu sehen. Bis auf die fotoelektrische Ein- und Ausschaltung sind die Register in der üblichen Weise aufgebaut. Das gilt auch für die in Bild 10.93 dargestellten Filter des sowjetischen Polyphons *Perle 2*.

Bild 10.94 und Bild 10.95 zeigen den mechanischen Aufbau des Registerteils des Instruments K4. Bild 10.95 zeigt die in

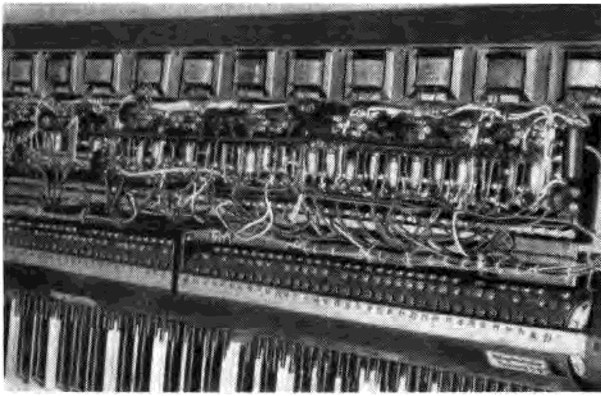


Bild 10.94 Ansicht des Registerteils des Instruments K4 nach Bild 3.4 (obere Einbauebene)

Bild 10.94 sichtbare obere Schaltungsebene der Registerfilter in hochgeklappter Lage, so daß die untere Schaltungsebene eingesehen werden kann. Auch die in Bild 10.87 schematisch



Bild 10.95 Ansicht des Registerteils des Instruments K4 nach Bild 3.4 (die obere Einbauebene ist hochgeklappt, die untere Einbauebene ist sichtbar)

dargestellte Registerschaltwalze ist zu erkennen. Sie kann durch Betätigung eines Handhebels gedreht werden. Die Walze trägt die Nockenreihen für 11 feste Klangkombinationen. Es sind 12 Nockenreihen gleichmäßig über den Umfang der Walze verteilt (s. Abschnitt 10.4.4.). Sie weist daher 12 Raststellungen auf, die mit Hilfe eines *Schrittschaltwerkes* fixiert wurden. Da die Nocken in die Register-Schaltwalze eingeschraubt sind, kann die Lage der Nocken auf Wunsch verändert und neue Klangkombinationen können somit zusam-

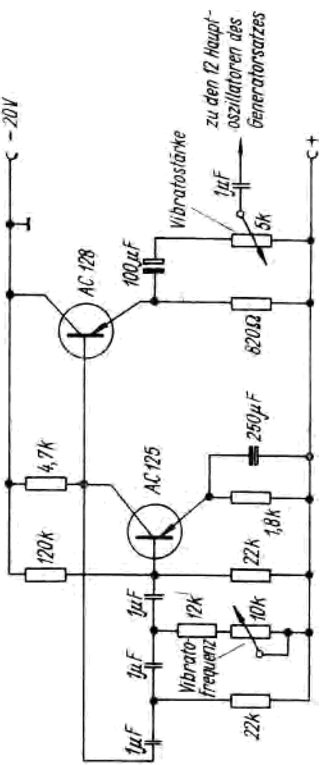


Bild 10.96 Transistorisierter Frequenzvibratogenerator

mengestellt werden. Die Nocken selbst sind M-4-Schrauben mit abgerundeten Zylinderköpfen.
Weitere Register- und Effektschaltungen siehe Bilder 6.20, 6.21, 8.15, 9.4b, 9.19, 9.20, 9.21, 9.22, 9.29, 9.32, 9.33, 9.34, 10.21, 10.23, 10.63 bis 10.67, 10.70 bis 10.72.

Literaturhinweise zum Thema Filter:

Zeitschrift „Radio und Fernsehen": 1958, H.1, S. 17; 1960, H. 24, S. 774; 1971, H. 19, S. 642.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [10], [11], [19].

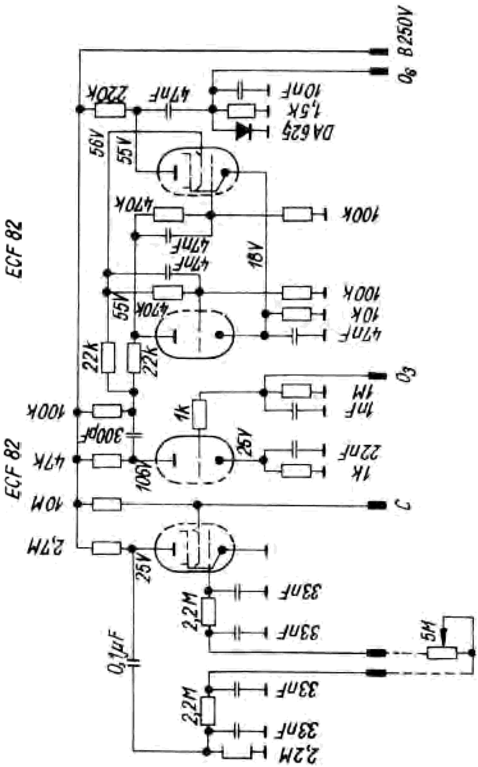


Bild 10.97 Frequenzvibratogenerator und Flip-Flop-Teiler der *EMP I*

10.4.5.2. Tremolo- und Frequenzvibratoschaltungen

Bild 10.96 und Bild 10.97 zeigen Frequenzvibratogeneratoren in RC-Schaltung. In der Schaltung nach Bild 10.97 gehört nur das linke Pentodensystem der *ECF 82* zum Generator. Seine Frequenz wird am Punkt C ausgekoppelt, gelangt zum Hubregler und von dort zu den Muttergeneratoren der *EMP 1* (*Ionika*). In der Schaltung liegen nicht die Widerstände, sondern die Kondensatoren der Phasenschieberkette gegen Masse. Der Frequenzregler hat einen für Röhrenschaltungen normal hohen Widerstandswert von 5 MΩ.
Die 3 anderen Röhrensysteme gehören zu einem Flip-Flop-Teiler, mit dem die Tonfrequenzen der tiefsten monophonen Oktave der *Ionika* erzeugt werden.
Der Tremologenerator (Amplitudenmodulation) nach Bild 10.98 arbeitet nicht nach dem fotoelektrischen Prinzip. Die von dem RC-Generator erzeugte Tremolofrequenz wird an der Basis des 3. Transistors mit dem zu modulierenden NF-Signal überlagert.

Weitere Schaltungsbeispiele siehe Bilder 8.12, 9.4b, 9.23, 9.24, 9.35, 10.4, 10.64, 10.69, 10.70, 10.71 und 10.72.

Literaturhinweise zum Thema Tremolo- und Frequenzvibratoschaltungen:

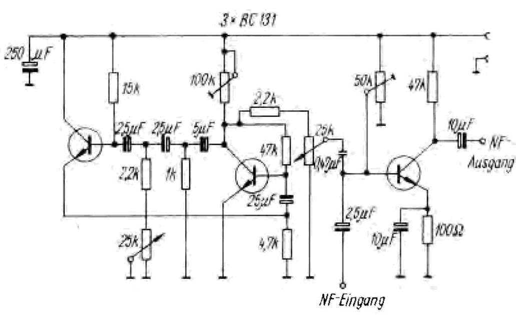


Bild 10.98 Tremologenerator ohne fotoelektrische Bauelemente

Zeitschrift „Radio und Fernsehen“: 1965, H. 6, S. 180; H. 9, S. 282; H. 19, S. 602.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [8], [10], [11], [12], [13], [19], [23], [26], [27].

10.4.5.3. Nachhalleinrichtungen

Am häufigsten werden zur Erzeugung eines künstlichen Nachhalls *Federhallstrecken* benutzt. Mehrere dieser Schaltungen wurden bereits erläutert (s. Abschnitt 6.5.3., Abschnitt 9.4.9. und Abschnitt 10.4.5.3.).

Künstlicher Hall läßt sich noch durch andere Mittel und Einrichtungen erzeugen [4] (*Rohrschlange, Hallplatte, Hallraum, Hallautsprecher* und *Tonbandgerät*).

Literaturhinweise zum Thema künstlicher Nachhall:

Zeitschrift „Radio und Fernsehen“: 1960, H. 15, S. 389; 1961, H. 22, S. 709; 1963, H. 1, S. 28, H. 8, H. 9, H. 10, S. 320; 1970, H. 5, S. 222.

Zeitschrift „Funkschau“: 1960, H. 15, S. 389.

Zeitschrift „FUNKAMATEUR“: 1970, H. 5, S. 222.

10.4.5.4. Abklingeffektschaltungen (Sustain)

Bild 10.99 zeigt eine Nachklangschaltung mit Dioden. Störend ist die hohe negative Spannung von –200 V zur Sperrung der

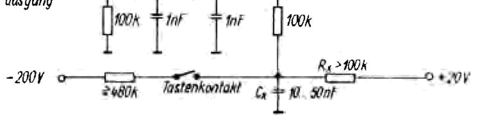


Bild 10.99 Nachklangschaltung (Sustain)

Dioden. Beim Schließen des Tastenkontaktes werden die Dioden für die Tonfrequenzen leitend. Wird die Taste losgelassen (Tastenkontakt öffnet), dann lädt sich C_x über R_x langsam auf, so daß die Dioden allmählich wieder sperren. Dementsprechend verklingt der Ton [10], [11]. Siehe auch Bild 9.30, Bild 10.24, Bild 10.25.

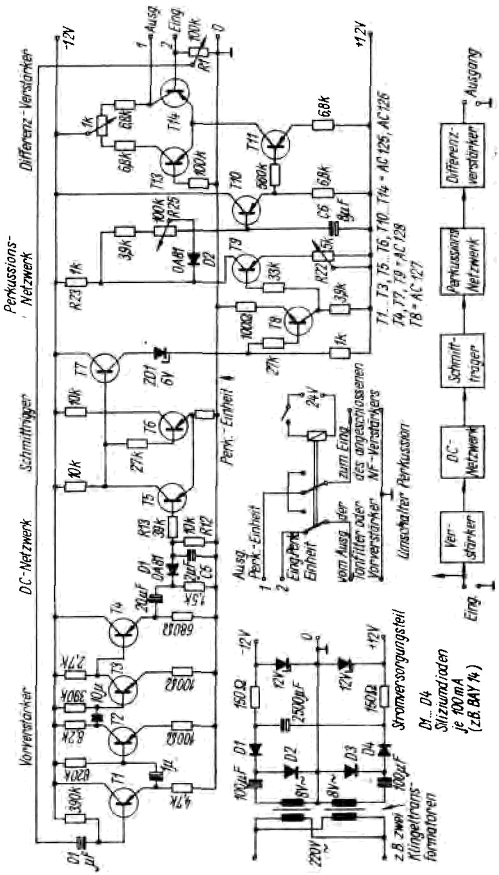


Bild 10.100 Perkussionsschaltung zum nachträglichen Einbau

10.4.5.5. Schlageffekte (Perkussion)

Eine Perkussionsschaltung, die nachträglich in jedes Polyphon eingebaut werden kann, zeigt Bild 10.100.

Das Tonfrequenzsignal gelangt über den Eingangsregler R1 auf den Vorverstärker (T1 bis T4). Über die Diode D1 lädt sich der Kondensator C5 im DC-Netzwerk negativ auf, so daß der *Schmitt*-Trigger T5, T6 umkippt (T5 öffnet, T6 sperrt). T7 folgt dem Kollektor von T5, T8 wird über ZD1 in die Sättigung gesteuert. Wird das Tonfrequenzsignal durch Loslassen der Klaviaturtaste unterbrochen, so entlädt sich C5 über die Widerstände R12 und R13. Daraus folgt ein Zurückkippen des Triggers (T5 sperrt, T6 leitet), so daß T8 sperrt. Einfacher ausgedrückt können die Vorgänge in diesem Teil der Schaltung wie folgt beschrieben werden:

Beim Drücken einer Klaviaturtaste entsteht an C5 eine negative Gleichspannung, die den Trigger kippen läßt, wodurch T8 durchsteuert. C5 entlädt sich schnell, wenn die Taste losgelassen wird, der Trigger kippt zurück, und T8 sperrt.

Bei Inbetriebnahme der Schaltung lädt sich C6 über R23 und D2 schnell bis $-U_b$ (−12 V) auf. Bei fehlendem Signal vom Polyphon bleibt C6 geladen, da T8 und T9 gesperrt sind. T11 leitet in diesem Fall, und der Differenzverstärker ist funktionsfähig. Drückt man eine Taste, dann wird das Signal zunächst über T14 verstärkt und gelangt zum Ausgang. Da das Signal gleichzeitig am Eingang des Vorverstärkers liegt, werden die Stufen T8 und T9 leitend, so daß sich C6 über T9 entlädt. Die Entladezeit wird von den Reglern R22 und R25 bestimmt und beträgt maximal 5 s. Ist C6 vollständig entladen, so sind T10 und T11 gesperrt. Über den Differenzverstärker fließt dann kein Strom mehr, sein Verstärkungsfaktor ist Null, das Tonfrequenzsignal wird von T14 nicht verstärkt. Da die Entladung des C6 nicht schlagartig erfolgt, entsteht analog der zeitabhängigen Zusteuerung des T14 der gewünschte Perkussionseffekt.

Wird der Perkussionseffekt umgekehrt, so ergeben sich streichinstrumentenartige Klänge. In der Schaltung nach Bild 10.100

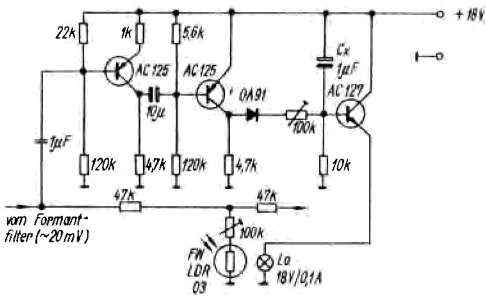


Bild 10.101 Schaltung zur Erzeugung eines Klaviereffektes

ist dazu 1. die Diode D2 umzupolen und 2. die Basis des T7 an den Kollektor des T6 anzuschließen.

In Bild 10.101 ist die Schaltung für einen Klaviereffekt dargestellt. Der Fotowiderstand ist zunächst hochohmig, die Tonfrequenzen können passieren. Da das Tonsignal über die Transistoren die Lampe am Fotowiderstand zum Aufleuchten bringt, tritt eine Spannungsteilung im Tonfrequenzkanal (im Bild unten) ein. Der Trimmwiderstand 100 kΩ schränkt den Regelbereich des *LDR 03* ein (Einstellen der Perkussionstiefe). Weitere Schaltungsbeispiele siehe Bild 9.24, Bild 10.33 in Verbindung mit Bild 10.31 und Bild 10.72.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [10], [11].

Anmerkung:

Auf Perkussionsvorgängen beruht auch die Funktion *elektronischer Schlagzeuge.* Sie werden als Zusatzgeräte immer häufiger zusammen mit elektronischen Musikinstrumenten betrieben. Entweder erzeugt man die Schlagzeugrhythmen mit Hilfe elektronischer Taktgeber, oder der Schlagzeugeinsatz wird über das jeweils angeschlossene Instrument z. B. von den Pedaltasten aus gesteuert. Außerdem haben elektronische Schlagzeuge Impulstasten, über die Schlagzeugeffekte von Hand ausgelöst werden können. Einfache Ausführungen sind nur mit derartigen Impulstasten ausgerüstet.

Literatur:

Zeitschrift „FUNKAMATEUR“: 1968, H. 11, S. 532, *A. Steiner:* „Ein elektronisches Metronom“.

Zeitschrift „Funkschau“: 1972, H. 7, S. 225, *Werner Wittke:* „Tschebumm, ein elektronisches Schlagzeug“.

10.4.6. Verstärker

Man unterscheidet zwischen Vorverstärkerstufen (Stufen für die Verstärkung von Spannungen) und Endstufen (Leistungsverstärkerstufen).
Die Schaltungstechnik von NF-Verstärkern ist umfangreich (s. die allgemeinen Erläuterungen in Abschnitt 6.7. und Abschnitt 6.8. in Teil 1).

10.4.6.1. Vorverstärker

In Bild 10.102 sind links 5 Koppelverstärkerstufen und rechts eine Ausgangsverstärkerstufe der *Ionika EMP 1* zu sehen.
Bild 10.103 zeigt eine Vorverstärkerschaltung für die in Bild 10.92 dargestellten Zungenregister. Am Eingang 3 liegt die Sammelschiene Punkt 7 des in Bild 10.74 gezeigten Klangformers, der an den Generator (s. Bild 10.73) den Zahlenangaben entsprechend angeschlossen ist. T1, T2 und T5 in Bild 10.102 sind vom Typ *BC 172 c.*
Der Vorverstärkerkomplex in Bild 10.104 sieht komplizierter aus, als er es ist. T1 bis T8 sind Vorverstärkerstufen, T9 bis T11 gehören zu einem Amplitudenvibratogenerator (die Stufen T10 und T11 bilden die Schwingschaltung, T9 verstärkt die erzeugten Schwingungen). Die parallelgeschalteten Stufen T1 für Flötenstimmen und T2 für Streicherstimmen arbeiten gemeinsam auf die Stufe T3, an dessen Basis außerdem die Tonfrequenzen der Zungenstimmen (s. Bild 10.92) gelangen. Am Ausgang der Stufe T3 liegen der Schweller und der Regler P3, der dem Schweller parallelgeschaltet ist. Es folgen die Stufe T4, der Grundlautstärkeregler P5 und die Stufe T5.

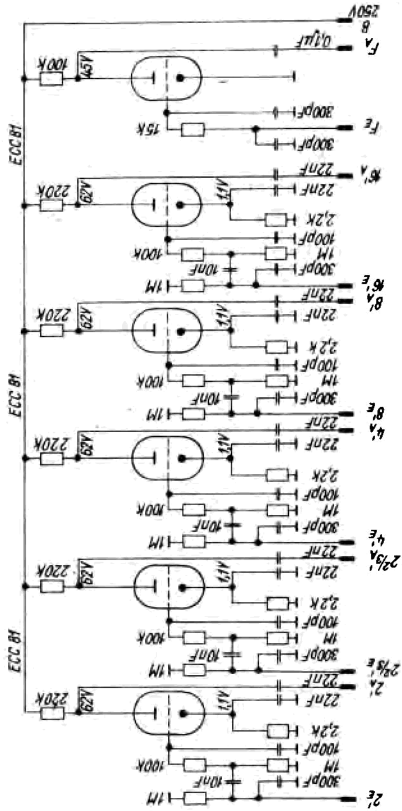


Bild 10.102 Vorverstärkerstufen der *Ionika EMP 1*

Zwischen T5 und T6 sind *Klangregelglieder* geschaltet. An der Ausgangsstufe T7, T8 wird das Signal des Vorverstärkers zum Leistungsverstärker (s. Bild 10.105) ausgekoppelt.

Anschlußpunkte des Vorverstärkers:

—1— Eingang, angeschlossen ist die Sammelschiene Labial, Flöten des in Bild 10.73 gezeigten Generators, dort Ausgang 4

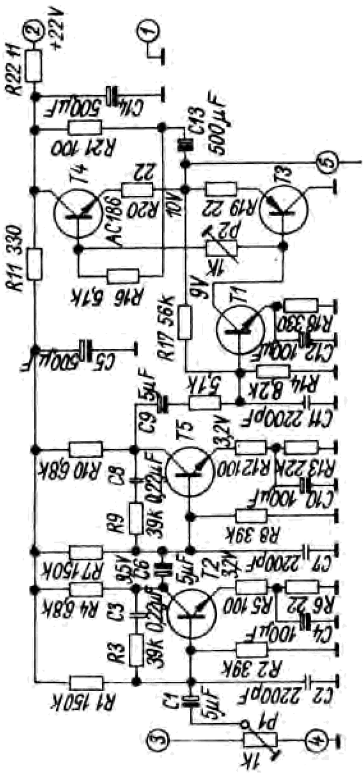


Bild 10.103 Vorverstärker für die Register nach Bild 10.92

—5— Eingang, angeschlossen ist die Sammelschiene Streicher (s. Bild 10.73, dort Anschlußpunkt 10).
Die mit Pfeil versehene Leitung in Bild 10.104 unten links führt zum Ausgang der Zungenregister (s. Bild 10.92)

—9— Lampenspannung zum Einschalten der Streicherstimmen in Verbindung mit dem Fotowiderstand *ORP 61*

—14— Schwellereingang (Manual, Flöten, Streicher, Zungenstimmen)

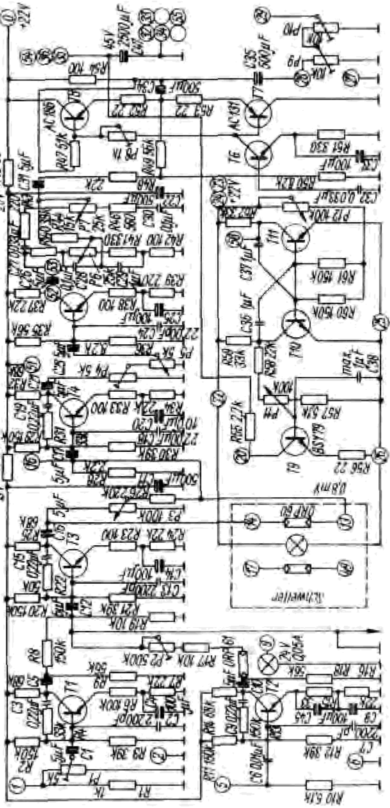


Bild 10.104 Vorverstärker einer elektronischen Konzertorgel

—17— Schwellereingang (Tonfrequenzen des Baßpedals)
—49— zum Pedalverstärker
—16— Eingang, Tonfrequenzen vom Pedalverstärker
—52— Zum Eingang des Hallgeräts } Bei Anschluß des
—53— vom Ausgang des Hallverstärkers } Hallgeräts wird C26 entfernt!
—36— +45 V für C47 vom Netzteil (s. Bild 10.111)
—54— +45 V zum Nachhallverstärker

—35— +45 V für den Endverstärker (s. Bild 10.105)
—32— Hauptmasse vom Netzteil für Vorstufen, Endstufe und Generatorsatz
—33— Masse für Siebelektrolytkondensator
—34— Masse zur Endstufe
—28— Tonausgang für Zusatzverstärker
—29— Tonsignalauskopplung zur Endstufe
—27— Masse für den Anschluß von Zusatzverstärkeranlagen
—24— ⎱ +22 V vom Netzteil (s. Bild 10.111), für die Lampen
—23— ⎰ (Register usw.) und für den Vibratogenerator
—58— Ausgang Vibrato für die Zungenregister (Einkopplung erfolgt in eine Regelstufe auf den Registerplatinen, Amplitudenvibrato!)
—20— Ausgang Vibrato für das II. Manual (Einkopplung erfolgt in eine Regelstufe auf den Registerplatinen, Amplitudenvibrato!)

Alle Transistoren in Bild 10.104 ohne Bezeichnung entsprechen dem Typ *BC 172 c*.

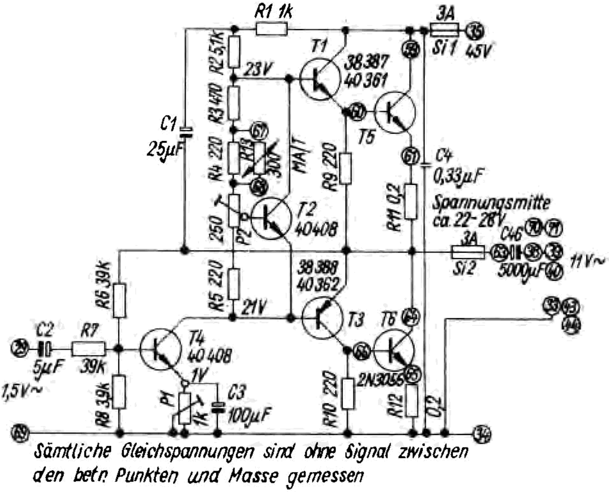


Bild 10.105 Endverstärker zum Vorverstärker nach Bild 10.104

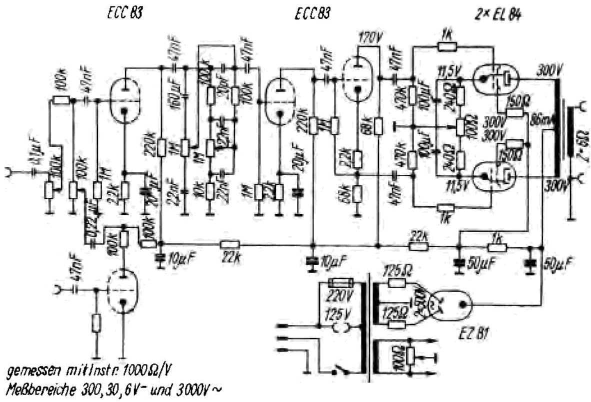


Bild 10.106 Verstärker MV 2 (Ausgangsleistung 12,5 W)

10.4.6.2. Endverstärker und Lautsprecher

Bild 10.105 zeigt eine *transformatorlose* (eisenlose) Endstufe. Schaltungen dieser Art werden vor allem in modernen transistorisierten Verstärkern angewendet.

Der röhrenbestückte Verstärker nach Bild 10.106 wurde auf Wunsch für die *Ionika EMP 1* mit Lautsprecherbox geliefert.

Bild 10.107 zeigt die Schaltung des Verstärkers *Regent 60-2,* der mit 2 großen Boxen angeboten wird (s. Bild 6.30). Dieser Verstärker ist mit 4 regelbaren Eingängen (Mischpult) ausgerüstet und eignet sich sehr gut für den Anschluß elektroakustischer Musikinstrumente. Für jeden Eingang ist eine Höhen- und Tiefenregelung eingebaut.

Nach Bild 10.108 können Verstärker wahlweise mit verschiedenen Ausgangsleistungen aufgebaut werden. Zum Stromlaufplan gehört die Tabelle 10.5., sie gibt Auskunft über die *variablen* Bauelemente und über die Daten der einzelnen Aufbauvarianten (Näheres s. Zeitschrift „Radio und Fernsehen", 1970, H. 5, S. 163).

Bild 10.109 zeigt einige Beispiele für die Bestückung von Boxen mit Lautsprechern der verschiedensten Typen und Da-

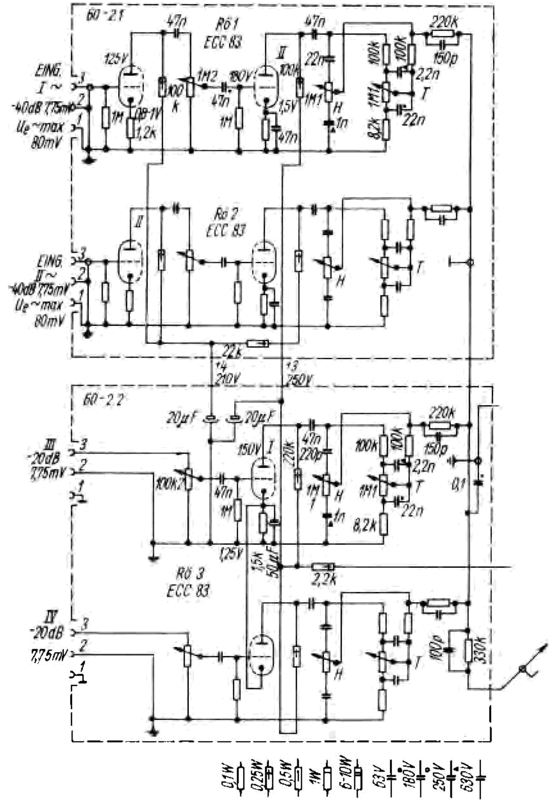
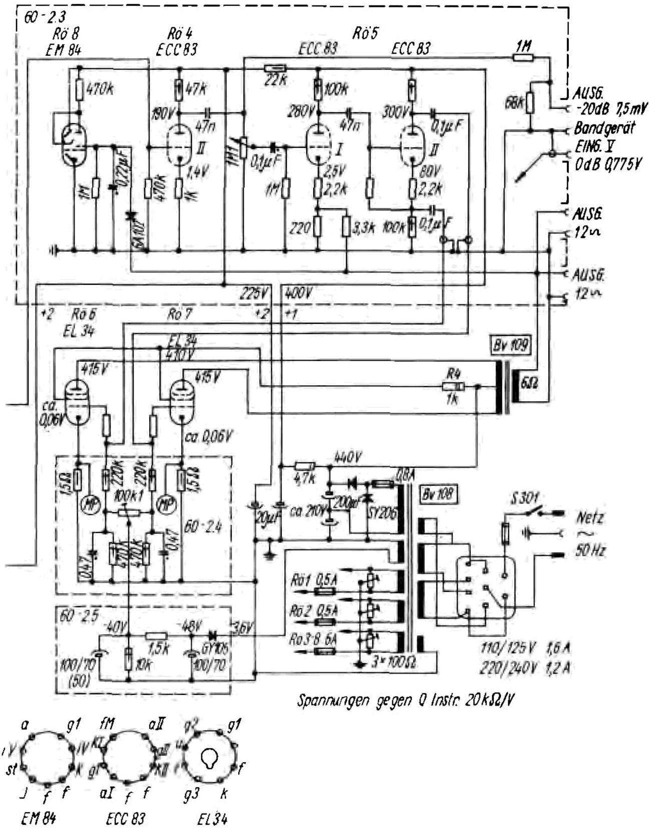


Bild 10.107 Verstärker *Regent 60* (Daten s. Bild 6.30)

ten. Ähnliche Schaltungen kann man sich selbst zusammenstellen, wenn mehrere Lautsprecher kleinerer Leistung zu hochbelastbaren Kombinationen zusammengeschaltet werden sollen. Die Kombinationen muß man widerstands- und leistungsmäßig nachrechnen, um zu ermitteln, ob die Schaltung den richtigen Gesamtwiderstand aufweist und die Lautsprecher etwa ihrer Leistung entsprechend belastet werden. Es ist



zweckmäßig, die Lautsprecher nur mit der Hälfte ihrer Nennleistung auszulasten. In den Kombinationen darf es nicht zur Überlastung eines Lautsprechers kommen.

Nach den in [19] gegebenen Berechnungsbeispielen lassen sich die Kombinationen auch mit *Frequenzweichen* aufbauen. An Stelle der in den Beispielen verwendeten Einzellautsprecher

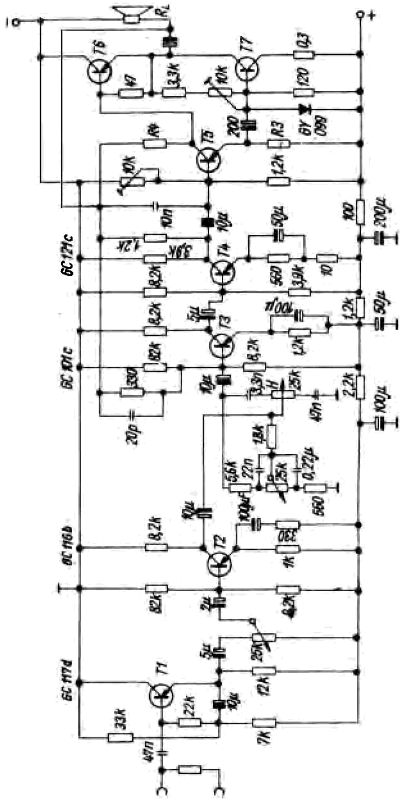


Bild 10.108 Verstärker (Ausgangsleistung je nach Bestückung)

kommen Lautsprecherkombinationen zum Einsatz. In den Baßlautsprecherzweig wird man nur Lautsprecher mit größeren Abmessungen schalten. Kleine Lautsprecher mit möglichst harten und steif gelagerten Membranen gehören in den Hochtonzweig der Gesamtkombination. Die Leistung des Hochtonkanals wird mit etwa 30 bis 35 % der Leistung des Tieftonkanals bemessen.

Tabelle 10.5. Variable Bauelemente zur Schaltung nach Bild 10.108

T6/T7	$R_L$optimal in Ω	U_b		R3		I_c T5 in mA		R4		T5		maximale Sinusleistung in W		maximale Musikausgangsleistung in W	
		$R_L$opt.	R_L = 6 Ω	$R_L$opt.	R_L = 6 Ω	$R_L$opt.	R_L = 6 Ω	$R_L$opt.	R_L = 6 Ω	$R_L$opt.	R_L = 6 Ω	$R_L$opt.	R_L = 6 Ω	$R_L$opt.	R_L = 6 Ω
2 GD 160	4	18	18	15	22	95	70	82	100	GD 110	GD 110	3,5	3	5,6	4,25
2 GD 170	8	30	26	22	22	65	85	180	120	GD 120	GD 120	7,5	7	10	10
2 GD 175	24	48	26	33	22	40	85	520	120	GD 125	GD 120	9	7	10	10
2 GD 180	36	60	26	47	22	30	85	820	120	GD 130	GD 120	9	7	9,5	10
2 GD 240	4	25	25	15	22	115	80	82	120	GD 170	GD 170	6,5	6,5	10,5	92
2 GD 241	5	35	35	22	22	110	100	160	160	GD 175	GD 175	12	11	18	15,6
2 GD 242	12	48	37	27	22	70	100	200	160	GD 175	GD 175	15	12	18,3	17
2 GD 243	18	60	37	33	22	60	100	470	160	GD 180	GD 175	18	12	20,5	17
2 GD 244	24	70	37	33	22	55	100	680	160	GD 180	GD 175	20	12	22	17

Tabelle 10.6. Lautsprechertypenübersicht

Typ	Nennbelastbarkeit in VA	Übertragungsbereich in Hz	Nennscheinwiderstand in Ω	Korbabmessungen in mm	Bauhöhe in mm	Erforderlicher Schallochdurchmesser in mm	Masse in kg
Rundlautsprecher							
121 K-3	0,1	350 ... 4500	8	50	20,5	44	0,042
112 M	0,5	220 ... 14000	8	65	30	57	0,07
112 KM	0,5	220 ... 14000	8	65	30	57	0,07
123 M	1	180 ... 9000	8	100	42	80	0,25
123 S	1	180 ... 9000	8	100	52	80	0,33
LP 559 HS	1	2100 ... 18000	6	66	40	57	0,16
LP 554-6	1,5	1700 ... 18000	6 (5kHz)	101	42	80	0,13
LP 554-12	1,5	1700 ... 18000	12 (5kHz)	101	43	80	0,13
115 MBS	2	90 ... 15000	8	165	62	140	0,4
124 MBV	2	90 ... 14000	15	130	48	105	0,39
L 2159 PBFI	2	85 ... 14000	8	165	54	140	0,44
L 2359 PB/A	2	90 ... 15000	4	165	62	140	0,4
115 SB	3	95 ... 16000	8	163,5	70	140	0,47
124 M	3	120 ... 7500	6	130	48	105	0,39
124 MB	3	90 ... 14000	6/8	130	48	105	0,39
124 SB	3	120 ... 7500	6	130	48	105	0,39
L 2359 PB/1	3	90 ... 15000	8	165	62	140	0,4

L 2960 PB	3	60 ... 15000	4	200	88,5	175	0,6
L 2960 PB/1	3	60 ... 15000	4	200	88,5	175	0,6
L 2158 PB	4	60 ... 13000	6	200	86,5	175	1,1
L 2459 PT	4	35 ... 5000	4 (400Hz)	245	135	210	2
124 MBK	6	70 ... 16000	6	130	60	105	0,73
L 2155 PB	8	55 ... 13000	4	245	135	210	2
L 3060 PB	12,5	40 ... 12000	6	300	160	260	4
146 KT	15	30 ... 2200	6	200	85	175	1,7
Ovallautsprecher							
222 M	1	180 ... 7500	8	80 × 130	41	65 × 115	0,25
L 2160 PO/A	1	140 ... 15000	8	80 × 130	55	65 × 115	0,17
L 2160 PO/B	1	140 ... 15000	8	130 × 80	43	65 × 115	0,26
LP 553	1,5	90 ... 12000	4	105 × 155	48	85 × 135	0,35
LP 553/BB	1,5	90 ... 16000	4/8	105 × 155	48	85 × 135	0,35
LP 561/BB	3	90 ... 15000	5	115 × 180	59	100 × 160	0,37
L 2259 PBO/A	3	60 ... 14000	4/15	153 × 215	76	130 × 190	0,68
L 2259 PBO/O	3	60 ... 14000	4	153 × 215	81	130 × 190	0,55
216 MB	4	55 ... 15000	4	180 × 260	85	155 × 235	0,66
216 SB	4	60 ... 15000	4	180 × 260	89	155 × 235	0,74
228 MB	4	85 ... 12000	4	355 × 90	72,5	75 × 340	0,73
L 2659 PBO	6	55 ... 12000	6	179 × 259	86,5	155 × 235	1,05

In der Tabelle 10.6. sind einige handelsübliche RFT-Lautsprechertypen verzeichnet (ältere Typen sind nicht enthalten).

Literaturhinweise zum Thema NF-Verstärker:

Zeitschrift „Radio und Fernsehen“: 1958, H. 11, S. 365, H. 12, S. 377; 1961, H. 6, S. 172, H. 8, S. 254, H. 13, S. 411; 1962, H. 21, S. 682; 1963, H. 2, S. 45, 47; 1964, H. 11, S. 345; 1965, H. 6, S. 172, H. 10, S. 297; 1966, H. 13, S. 412.

Zeitschrift „FUNKAMATEUR“: 1971, H. 3, S. 138, H. 4, S. 175.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [4], [8], [19], [27].

Anmerkung:

Literatur über NF-Verstärker ist weit verbreitet. Man braucht natürlich nicht auf die hier nur beispielsweise genannten Beiträge in Zeitschriften und Büchern zurückzugreifen und auch nicht alle Beiträge oder Bücher nachzulesen, die in den Literaturverzeichnissen angegeben sind. Das gilt allgemein für alle Literaturangaben in Teil 1 bis Teil 3, denn in den meisten

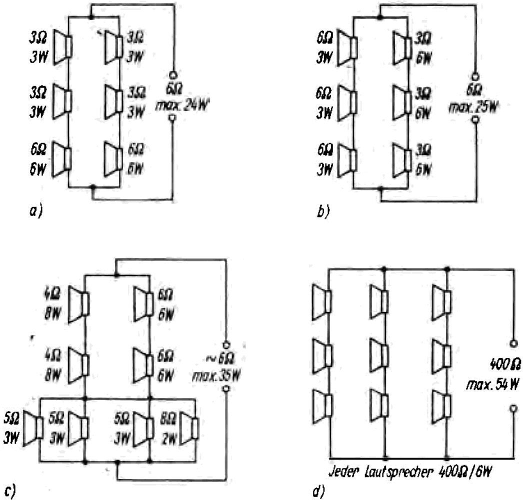


Bild 10.109 Lautsprecherkombinationen zum Einbau in Boxen

Fällen sind die Beiträge nicht speziell auf elektronische Musikinstrumente zugeschnitten, sondern behandeln die Thematik und die Schaltungen nur vom Prinzip her.

10.4.7. Stromversorgungsteile

Der Aufbau von Netzteilen richtet sich stets nach der Art und den Erfordernissen der Stromversorgung der angeschlossenen Verbraucher.

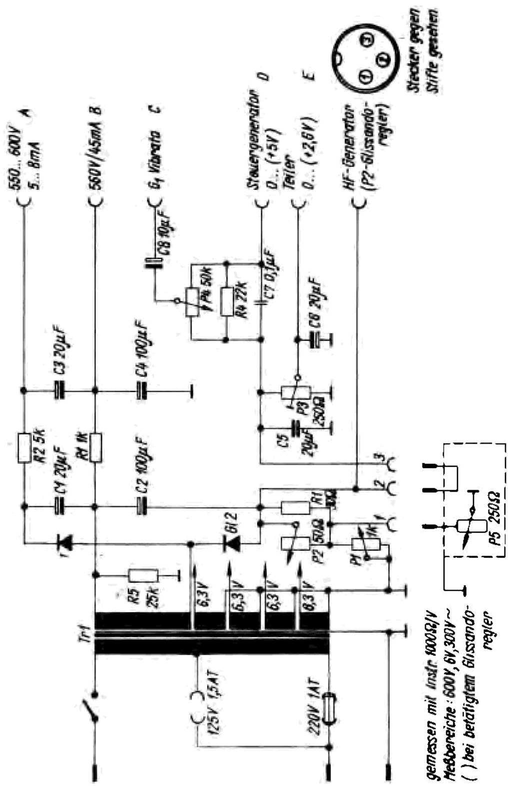


Bild 10.110 Netzteil der *Ionika EMP 1*

Bild 10.110 zeigt den Netzteil der *Ionika EMP 1.* Das Instrument ist mit Röhren bestückt, dementsprechend ist der Netzteil für hohe Spannungen bzw. Ströme ausgelegt.

Bild 10.111 zeigt den Netzteil einer elektronischen Orgel. Der Netzteil speist z. B. die in Bild 10.92, Bild 10.103 bis Bild 10.105 dargestellten Baugruppen.

Da Netzteile nur als *Hilfsbaugruppen* in den Schaltungen elektroakustischer Musikinstrumente zu bezeichnen sind und

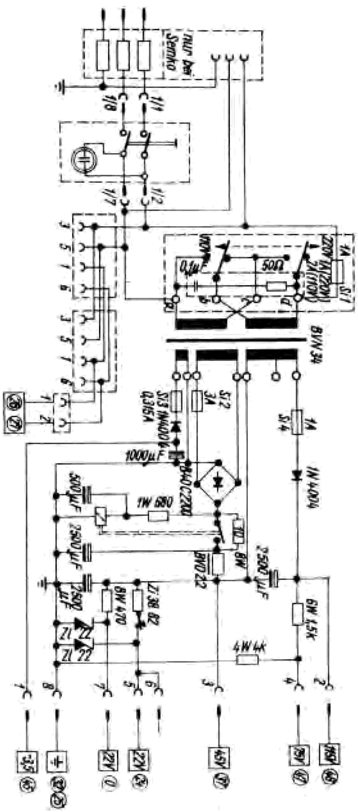


Bild 10.111 Netzteil einer größeren Konzertorgel

gegenüber anderen Stromversorgungsteilen keine Besonderheiten aufweisen, können weitere Erläuterungen entfallen.

Literatur zum Thema Stromversorgung:

Zeitschrift „FUNKAMATEUR“: 1966, H. 10, S. 493; 1968, H. 2, S. 75.

Beiträge laut Literaturverzeichnis in: [8], [12], [19].

11. Verdrahtung der Baugruppen

Wenn man sich intensiv mit den Baugruppen und dem Gesamtaufbau elektroakustischer Musikinstrumente beschäftigt hat, besteht Klarheit über alle Verbindungsleitungen, die in den Instrumenten vorhanden sind bzw. beim Selbstbau verlegt werden müssen.
Zunächst sind das die Leitungen für die Spannungszuführung zu den einzelnen Baugruppen, die vom Netzteil ausgehen. Diese Leitungen können sinnvoll zu *Kabelbäumen* zusammengefaßt werden. Aufpassen muß man bei der Verlegung der *Masseleitungen.* Es dürfen keine Schleifen geschaltet werden, weil das zu Brummerscheinungen führen kann. Entweder legt man die Masseanschlüsse der einzelnen Baugruppen an eine gemeinsame zum Netzteil führende Masseleitung größeren Querschnitts, oder man schafft einen *gemeinsamen* Masseanschlußpunkt in der Nähe des Netzteils bzw. an zentraler Stelle im Spieltisch oder Instrument, an den die separat verlegten Masseanschlüsse aller Baugruppen angelötet werden. Diese Methode führt immer zum Erfolg. Die Leitungsquerschnitte sollten nicht zu klein sein, Drahtdurchmesser von 1 mm reichen meistens aus. Man sollte *isolierten* Draht verwenden, um Massenebenschlüsse und damit unkontrollierbare Verbindungen zu vermeiden. Kritisch zeigte sich stets die Masseleitung zum Generatorsatz. Es kann gegebenenfalls über den Wiedergabekanal ein deutlich hörbares *Tonrauschen* auftreten, wenn die Masseleitung ungünstig verlegt und angeschlossen ist. Abhilfe schaffen die Vergrößerung des Leitungsquerschnitts und das Aufsuchen eines geeigneteren Masseanschlußpunktes z. B. direkt am Netzteil. Beim Selbstbau größerer Instrumente müssen in den meisten Fällen derartige Versuche ausgeführt werden. Deshalb sollte man zuerst flexible und isolierte Masseleitungen verlegen und später durch Massivleitungen ersetzen.
Abgeschirmte Leitungen müssen einen „dichten" Abschirmmantel haben und dürfen nicht in die Nähe von Netztrans-

formatoren gelangen. Die Abschirmmäntel legt man nur einseitig an Masse.

Die Mehrzahl der Tonfrequenzleitungen in einem Instrument werden nicht abgeschirmt verlegt, wenn moderne transistorisierte Schaltungen verwendet werden. Die Anschlußwerte sind ausreichend niederohmig (Ein- und Ausgangswiderstände der Baugruppen). Bei der Kastenbauweise ist die Abschirmung der Kästen mit kaschierter Aluminiumfolie (Papierseite nach außen, Folie mit Masseanschlüssen versehen) nicht problematisch. Die abgeschirmten Kastenflächen verhindern das Einstreuen von Tonfrequenzspannungen auf Leitungen und andere Baugruppen. Die Tonleitungen vom Generatorsatz zu den Tastsystemen und eventuell zu den Sustainstufen legt man zwischen abgeschirmte Flächen der Baugruppenkästen und erreicht damit eine *kapazitätsarme* Abschirmung. Die Leitungen werden ungebündelt verlegt, so daß Einstreuungen der Leitungen untereinander nicht auftreten. An kritischen Stellen legt man zusätzlich Folie ein. Bild 11.1 zeigt die Tastenkontaktsätze (Tastsysteme) des Instruments Kl mit seinen Klaviaturen (s. Bild 10.10). An die Entkopplungswiderstände in den Kontaktkästen müssen die Tongeneratoren angeschlossen werden. Da fast jede Generatorstufe mehrere Tastenkontakte entsprechend der vorhandenen Anzahl von Chören speist, sind in den Tastsystemen alle Kontakte, die gleiche Tonfrequenzen

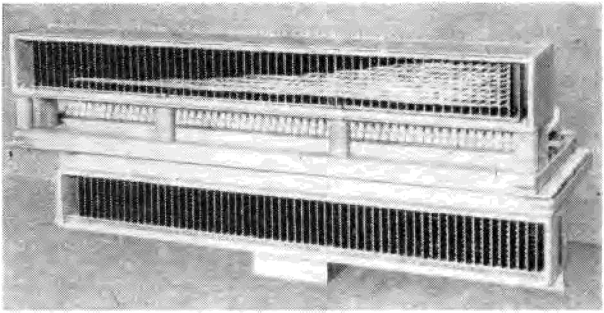


Bild 11.1 Tastenkontaktverdrahtung (Verharfungsleitungen)

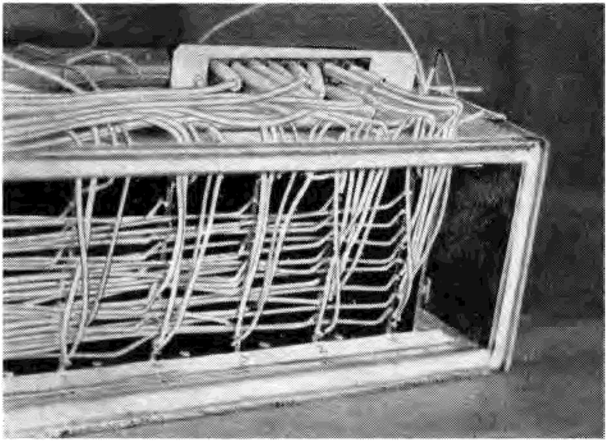


Bild 11.2 Anschluß der Tongeneratoren an die Tastenkontaktsätze

führen, miteinander zu verbinden. Dieser Teil der Verdrahtung wird in der Fachsprache als *Verharfung* bezeichnet. Die einzelnen Verharfungsleitungen wurden in den Stromlaufplänen der Tastsysteme durch die schräg verlaufenden Kontaktverbindungsleitungen dargestellt. Zur Vereinfachung sind dort die Entkopplungswiderstände, die Kontakte und die Sammelschienen in der Regel nicht mit eingezeichnet.

Bild 11.1 zeigt den Beginn der Verharfungsarbeiten im Kontaktkasten des II. Manuals. An jede einzelne Verharfungsleitung wird später der Ausgang der zugeordneten Generatorstufe angeschlossen. Das ist in Bild 11.2 am Beispiel der Verdrahtung des Pedaltastenkontaktes (Instrument K1) zu erkennen.

Bild 11.3 zeigt die fertiggestellte Verdrahtung des Kontaktsatzes des II. Manuals. Auch die Sustainstufen sind angeschlossen und — vom Kontaktsatzkasten abgeschwenkt — in Bild 11.3 unten zu sehen (s. Bild 10.16). Durch das Abschwenken der Sustainbaugruppe wurde die gesamte Verdrahtung freigelegt. Die Verharfungsleitungen kann man deutlich erkennen. Die hellen senkrechten Leitungen im Kontaktsatz

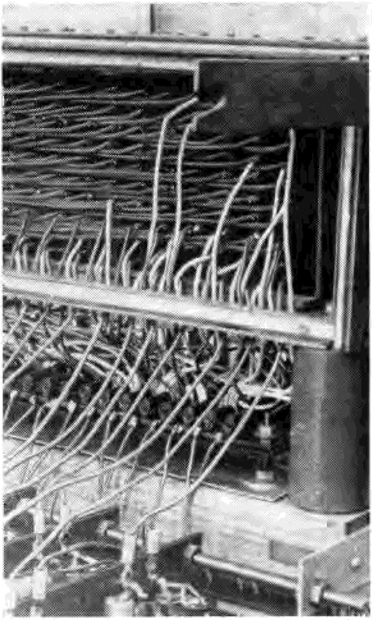


Bild 11.3
Fertiggestellte Verdrahtung des II. Manuals (Tastenkontakte und Sustainstufen)

führen die Tonfrequenzen vom Generatorsatz heran. Die vom Kontaktsatz schräg zu den Sustainstufen verlaufenden Leitungen verbinden die Sustainstufen mit den Sustainsteuerkontakten des Kontaktsatzes (s. Abschnitt 9.7.4.). Da im Kontaktsatz alle Tonfrequenzen der 8′-Tonlage in einer Reihe liegen, werden sie vom Kontaktsatz wieder herausgeführt und den Sustainstufen über Entkopplungswiderstände zugeleitet. Die Entkopplungswiderstände befinden sich nicht auf den Platinen der Sustainstufen, sondern auf einer Lötleiste unter dem Kontaktsatz (s. Bild 11.3).
Die Sammelschienen der Kontaktsätze sind mit dem Registerteil verbunden. Diese Leitungen (je Chor eine) werden abgeschirmt, indem man sie gemeinsam durch einen Schlauch aus Metallgeflecht führt oder das Leitungsbündel locker mit einer Folie umgibt.

Die Sammelschienen der Kontaktsätze enden an den Anschlüssen von Messerleisten, die in die Seitenwände des Kontaktsatzes eingelassen sind. Damit kann man die Verbindungsleitungen Sammelschienen-Registerteil trennen.
Längere tonfrequenzführende Leitungen von Baugruppen zu Bedienungselementen werden nur dann abgeschirmt verlegt, wenn es sich als notwendig erweist. Auch dazu sollten Litzendrähte dienen, die an geeigneter Stelle zur Zugentlastung mit Schellen festgelegt werden. Um Verluste an hohen Frequenzen gering zu halten, ist stets auf kapazitätsarme Abschirmung zu achten. Besonders kritisch sind abgeschirmte Leitungen, deren Kapazitätswerte keinesfalls zu hoch liegen dürfen (Diodenkabel verwenden!).
Stromversorgungsleitungen innerhalb der Baugruppen, die sich aus mehreren Platinen zusammensetzen (z. B. Generatorsatz, Sustaingruppen, Vorverstärker) werden parallelverlaufend an die einzelnen Platinen herangeführt. Dementsprechend werden die Platinen entworfen und zu Baugruppen zusammengefaßt (s. Bild 9.43 und Bild 10.16 sowie Abschnitt 9.7.1. und Abschnitt 9.7.4.).
Weitere Verdrahtungsbeispiele von Baugruppen und Instrumenten findet man ausschnittsweise noch in zahlreichen anderen Abbildungen in Teil 1 bis Teil 3.

Literaturverzeichnis

[1] *Autorenkollektiv:* Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechnik, Band II, S. 588 bis 598, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin-Borsigwalde 1953

[2] *Goedecke, W.:* Lehrbuch der Elektrotechnik, VEB Verlag Technik, Berlin 1953

[3] *Hildebrand, S., C. Markert:* Zeichnungen und Darstellungen in der Elektrotechnik, VEB Verlag Technik, Berlin 1963

[4] *Jakubaschk, H.:* Amateurtontechnik, Deutscher Militärverlag, Berlin 1967

[5] *Jakubaschk, H.:* Transistorschaltungen I, II, Band 20 und Band 35 der Reihe „Der praktische Funkamateur", Deutscher Militärverlag, Berlin 1962/66

[6] *Jakubaschk, H.:* Elektronikschaltungen für den Amateur, Band 28 und Band 66 der Reihe „Der praktische Funkamateur", Deutscher Militärverlag, Berlin 1964/67

[7] *Jakubaschk, H.:* Radiobasteln leicht gemacht, Deutscher Militärverlag, Berlin

[8] *Jakubaschk, H.:* Das große Elektronikbastelbuch, Deutscher Militärverlag, Berlin 1964

[9] *Jobst, R.:* Zur Wirkungsweise und Dimensionierung des LC-Formantfilters, „Radio und Fernsehen", 1971, H. 19, S. 642

[10] *Kupfer, K. H.:* Elektronische Orgeln, „Funktechnik", 1967, H. 6 bis H. 10

[11] *Lesche, J.:* Einführung in die Technik der elektronischen Musikinstrumente, „Funkamateur", 1966, H. 1 bis H. 12

[12] *Pabst, B.:* Grundschaltungen der Funktechnik, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1958

[13] *Rose, G.:* Fundamente der Elektronik, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH, Berlin-Borsigwalde 1959

[14] *Rumpf, K. H.:* Bauelemente der Elektronik, VEB Verlag Technik, Berlin

[15] *Rumpf, K. H., M. Pulvers:* Transistor-Elektronik, VEB Verlag Technik, Berlin 1963

[16] *Schlenzig, K.:* Von der Schaltung zum Gerät, Deutscher Militärverlag, Berlin 1968

[17] *Schreiber, E.:* Die Ausgleichvorgänge in der Musik und deren synthetische Nachbildung bei elektronischen Musikinstrumenten, „Radio und Fernsehen", 1957, H. 13 bis H. 15

[18] *Schreiber, E.:* Grundlagen der elektronischen Klangerzeugung, „Radio und Fernsehen", 1955, H. 22, S. 680 bis 684

[19] *Streng, K. K.:* abc der Niederfrequenztechnik, Deutscher Militärverlag, Berlin 1968

[20] *Streng, K. K.:* NF-Verstärker-Meßtechnik, Band 30 der Reihe „Der praktische Funkamateur", Deutscher Militärverlag, Berlin 1963

[21] *Schubert, K.-H.:* Elektrotechnische Grundlagen; I Gleichstrom, II Wechselstrom, VEB Verlag Technik, Berlin

[22] *Schubert, K.-H.:* Elektronische Effekte in der Tanzmusik, „FUNKAMATEUR", 1971, H. 5

[23] *Wahl, R.:* Elektronik für Elektromechaniker, VEB Verlag Technik, Berlin 1966

[24] *Winckel, F.:* Elektronische Musik durch konzertreife Instrumente, „Funktechnik", 1951, H. 1 und H. 2

[25] *Winckel, F.:* Farbiges Spiel auf elektronischen Instrumenten, „Funktechnik", 1951, H. 4 und H. 5

[26] *Autorenkollektiv:* Fachkunde für Funkmechaniker, Teile I bis III, Verlag Technik, Berlin

[27] *Fischer, H.-J.:* Transistortechnik für den Funkamateur, Deutscher Militärverlag, Berlin 1967

[28] *Schubert, K.-H.:* Das große Radiobastelbuch, Deutscher Militärverlag, Berlin 1962

[29] Prospekt über die Heimorgel „Sonett de Lux", Firma *Ahlborn*, Stuttgart

[30] Prospekt und Übersichtsstromlaufplan für das vollelektronische Musikinstrument EMP 3 der Firma *F. A. Böhm KG*, Klingenthal (jetzt VEB *Musikelektronik* Klingenthal)

[31] Prospekt und Serviceunterlagen des VEB *Harmonikawerke* Klingenthal für die Instrumente: *Basset, Claviset 200, Claviset 300, TO 200/5* und *TO 200/53* sowie *TO 10*

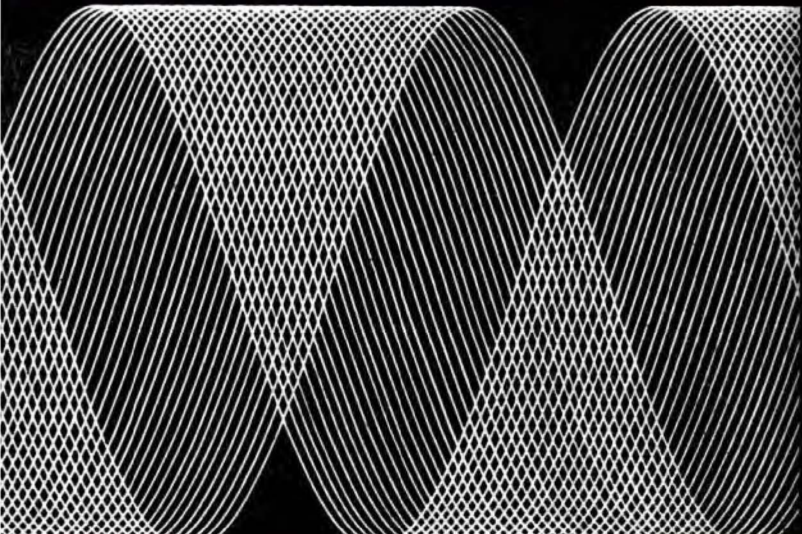
Bild 10.44 bis Bild 10.68 Bild 10.88	Entnommen aus: Prospektmaterial und Serviceunterlagen der Instrumente *TO 10, TO 200/5* des VEB *Klingenthaler* Harmonikawerke
Bild 10.73 Bild 10.74 Bild 10.78 Bild 10.80 Bild 10.92 Bild 10.103 Bild 10.104 Bild 10.105 Bild 10.111	Entnommen aus: Prospektmaterial und Reparaturunterlagen der Instrumente *S 22, C 25, Sonett de Lux* der Firma *Ahlborn*, Heimerdingen bei Stuttgart
Bild 10.69 Bild 10.70 Bild 10.71 Bild 10.91 Bild 10.107	Entnommen aus: Reparaturunterlagen und Prospekten der Instrumente der *Matador*-Serie, Verstärker, Zusatzgeräte des VEB *Musikelektronik* Klingenthal
Bild 10.77 Bild 10.90 Bild 10.97 Bild 10.102 Bild 10.106 Bild 10.110	Entnommen aus: Prospektmaterial und Serviceunterlagen des VEB *Blechblas- und Signalinstrumentenfabrik* Markneukirchen/Sachsen (*Ionika EMP 1* und Verstärker *MV 2*)
Bild 10.81 Bild 10.93	Entnommen aus: Sowjetische Fachzeitschrift „Radio", 1972, H. 8, S. 268 bis S. 270 (vollelektronisches Instrument *Perle 2*)
Bild 10.72	Entnommen aus: *Heathkit*-Katalog (Beilage) 1966

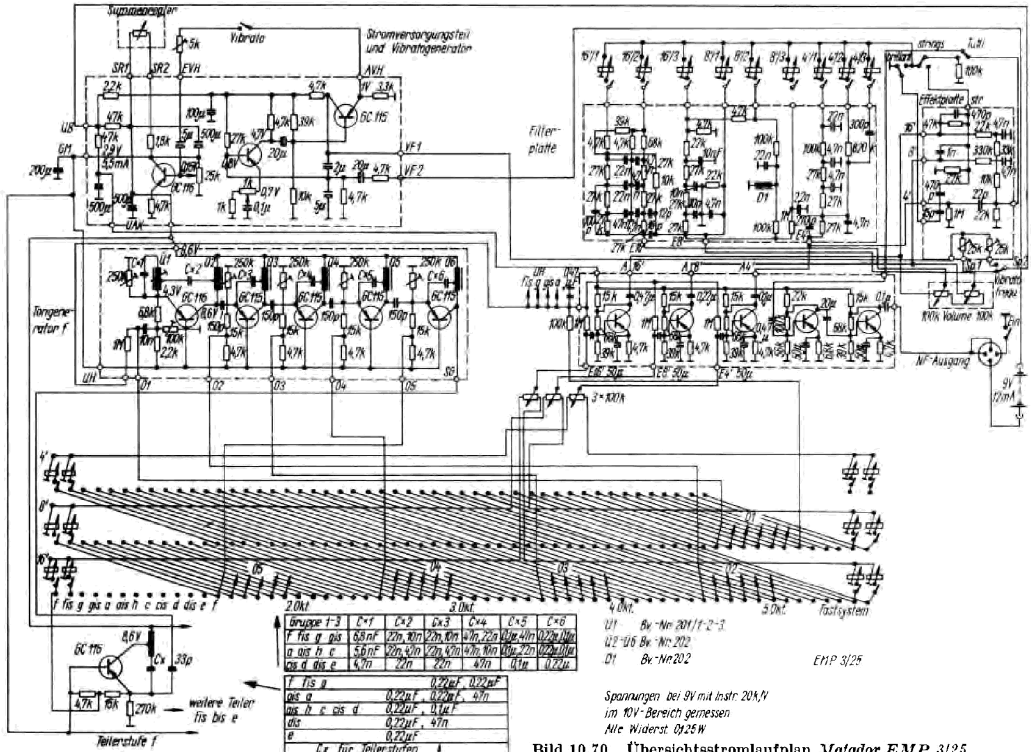
Bild 10.75 Bild 10.76	Entnommen aus: Zeitschrift „Elektor“, 1971, Januarheft, S. 122
Bild 10.79	Entnommen aus: *Intermetall*-Sonderdruck, 50/1967
Bild 10.82	Entnommen aus: [10], Zeitschrift „Funktechnik“, 1967, H. 8, S. 269
Bild 10.83	Entnommen aus: Serviceunterlagen (Stromlaufplan) des Instruments *compakt de Lux*, *Farfisa*, Ancona/Italien
Bild 10.96	Entnommen aus: [10] Zeitschrift „Funktechnik“, 1967, H. 10
Bild 10.98	Entnommen aus: Zeitschrift „FUNKAMATEUR“, 1971, H. 5, S. XIX
Bild 10.99 Bild 10.101	Entnommen aus: [10], Zeitschrift „Funktechnik“, 1967, H. 10, S. 378
Bild 10.100	Entnommen aus: Zeitschrift „Elektor“, 1971, H. 5, S. 552
Bild 10.108	Entnommen aus: Zeitschrift „Radio und Fernsehen“, 1970, H. 5, S. 163

1. Auflage, 1975, 1. — 15. Tausend

Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5
LSV 3539
Lektor: Dipl.-Phys. Hans-Joachim Mönig
Umschlagzeichnung: Heinz Grothmann
Zeichnungen: Gudrun Maraun
Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Ingeburg Zoschke
Vorauskorrektor: Ingeborg Kern · Korrektor: Ilka Krienitz
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Märkische Volksstimme Potsdam
Redaktionsschluß: 15. Oktober 1974
Bestellnummer: 745 698 8
EVP 1,90 Mark

134

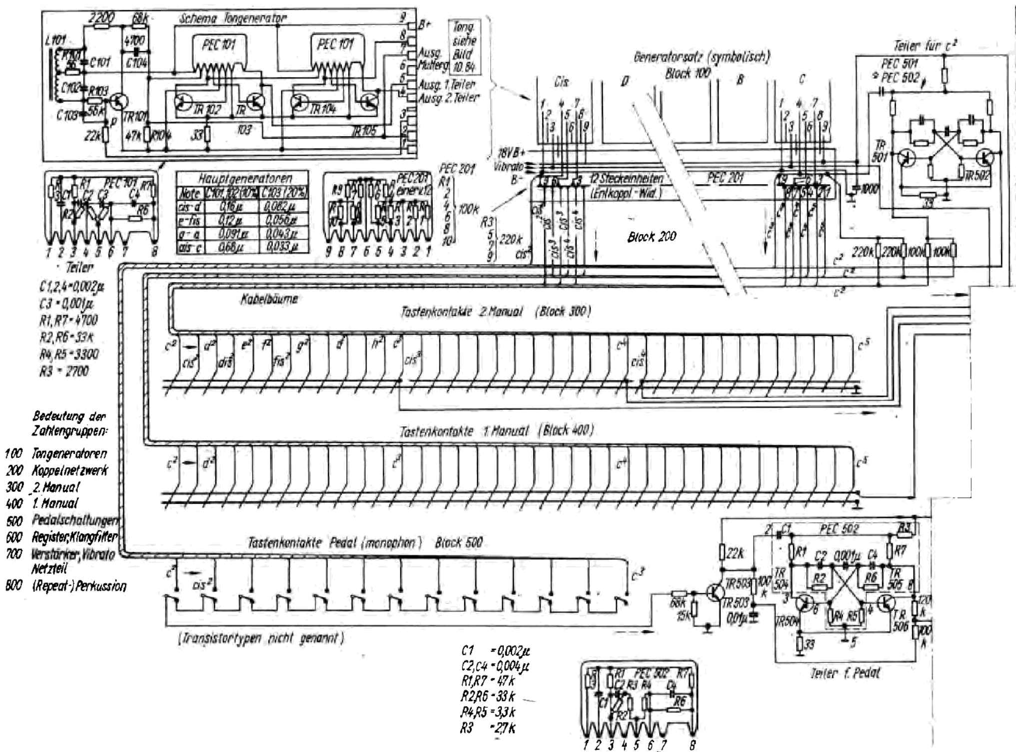




Gruppe 1–3	Cx1	Cx2	Cx3	Cx4	Cx5	Cx6
f fis g gis	6,8nF	22n, 10n	22n, 10n	47n, 22n	0,1µ, 47n	0,22µ, 0,1µ
a ais h c	5,6nF	22n, 47n	22n, 47n	47n, 10n	0,1µ, 22n	0,22µ, 0,1µ
cis d dis e	4,7n	22n	22n	47n	0,1µ	0,22µ

f fis g	0,22µF, 0,22µF
gis a	0,22µF, 0,22µF, 47n
ais h c cis d	0,22µF, 0,1µF
dis	0,22µF, 47n
e	0,22µF
Cx für Teilerstufen	

Bild 10.70 Übersichtsstromlaufplan *Matador EMP 3/25*



Note	C101, 102 (10%)	C103 (20%)
cis–d	0,16µ	0,082µ
e–fis	0,12µ	0,056µ
g–a	0,091µ	0,043µ
ais–c	0,68µ	0,033µ

Bild 10.72 Übersichtsstromlaufplan *Thomas-Heathkit elektronic organ Modell GD 325 B*

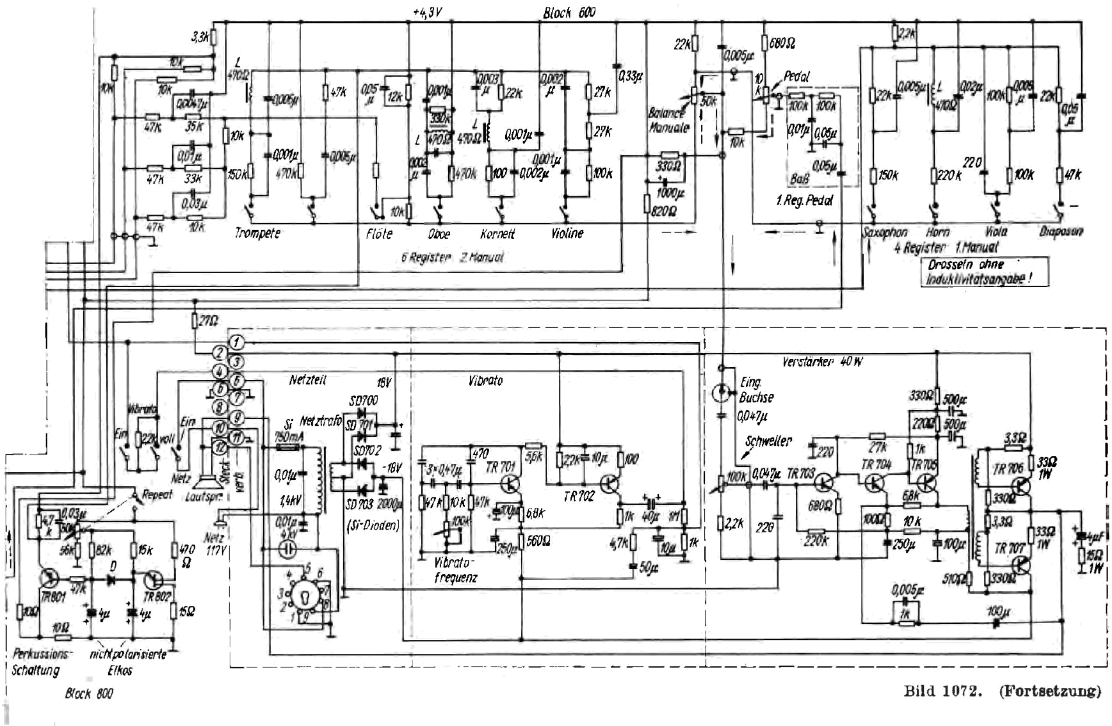


Bild 1072. (Fortsetzung)

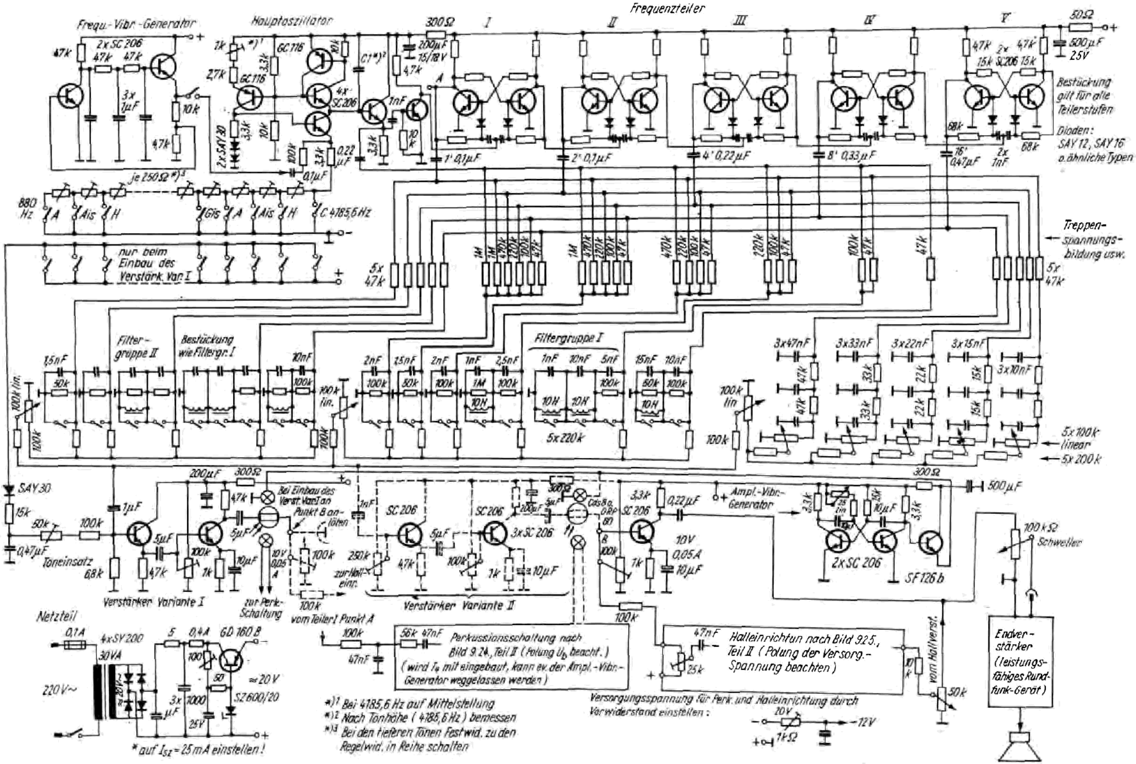


Bild 21.9 Stromlaufplan des Instruments nach Bild 21.8 (Es lassen sich auch typenähnliche Transistoren verwenden)